

Les lois fondamentales de l'optique géométrique

Surface plane :
Miroir, Dioptre et Prisme

SVT session d'automne 2012

Pr Hamid TOUMA
Département de Physique
Faculté des Sciences de Rabat
Université Mohamed V

L'optique ?

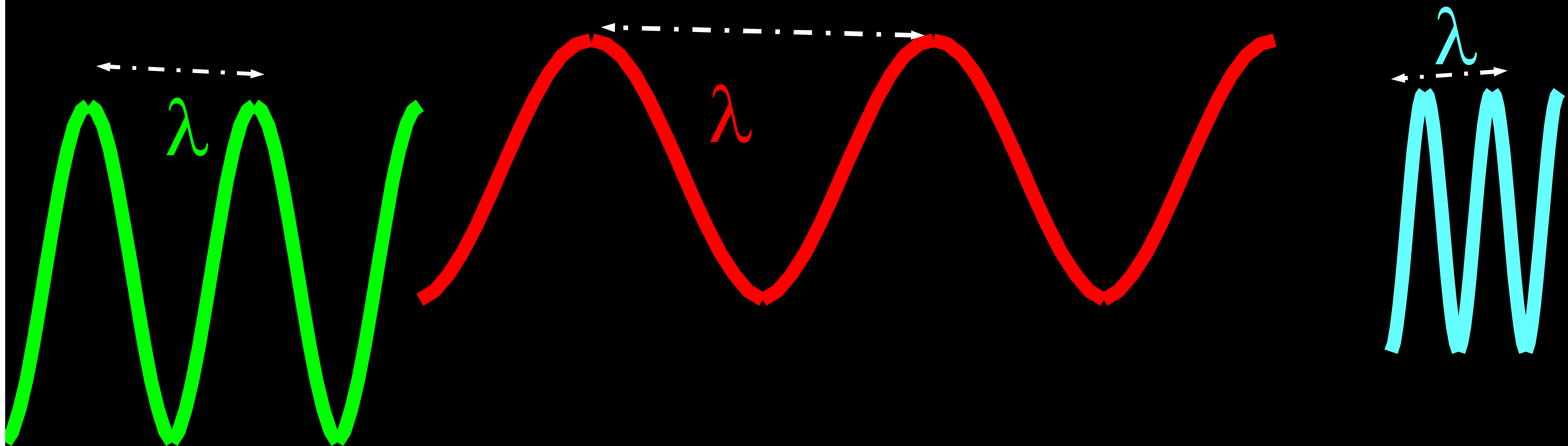
L'optique est l'étude de la lumière

La lumière est le messager de notre Univers

La lumière est émise par la matière et se manifeste par son action sur l'œil ou sur **d'autres récepteurs** parmi lesquels nous citerons :

- Plaque photographique, …
- Ces récepteurs permettent de mettre en évidence des domaines de lumière que l'œil ne perçoit pas, tels ceux de l'**Ultraviolet** et de **l'Infrarouge**.

En optique géométrique, la lumière est considérée comme une onde électromagnétique (**vibration ondulatoire**) qui se propage dans toutes les directions de l'espace, même en absence du milieu matériel.



Une onde électromagnétique est vibration ondulatoire caractérisée par **sa fréquence** ν nu) ou par sa période temporelle $T=1/\nu$,

Ces 2 paramètres T et ν sont indépendants du milieu traversé.

La **longueur d'onde** λ est définie par :

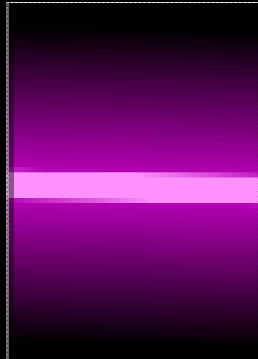
$\lambda = v.T = v/\nu$ où **v** est la vitesse de propagation de l'onde.

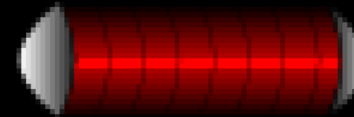
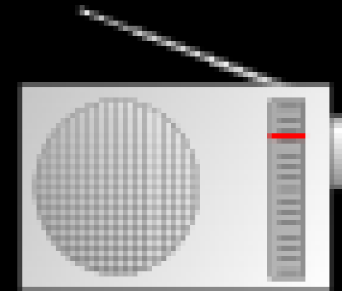
Ces 2 grandeurs **v** et λ dépendent du milieu traversé, à l'inverse de la période **T** et la fréquence ν.



1Ä=10^{-10}m   1nm=10^{-9}m   1μm=10^{-6}m





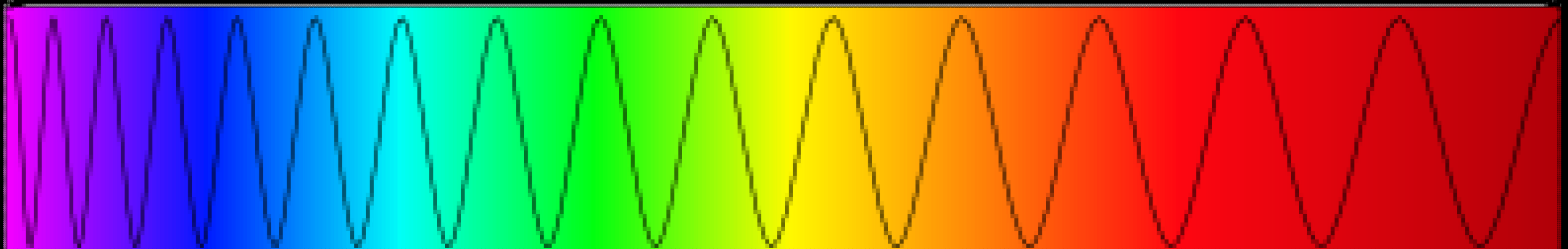



Le spectre électromagnétique

Visible à l'œil nu

400 nm   **750 nm**

La longueur d'onde λ_0 de la lumière visible à l'œil, par rapport au vide



La vitesse **v** de propagation de la lumière dépend du milieu traversé :

Air ou vide	eau	verre
300 000 km/s	**225 000 km/s**	**200 000 km/s**

La lumière se propage dans les milieux transparents différents à des vitesses différentes.

On définit **l'indice de réfraction n** en un point M quelconque d'un milieu donné par la quantité :

n = c/v =

$$n = \frac{\text{vitesse lumière dans le vide}}{\text{vitesse lumière dans le milieu}}$$

air	eau	éthanol	verres	benzène	diamant
1	1,3	1,36	1,5 < n < 1,8	1,6	2,4

Attention : c'est très important !!!!

Comme **v** < c alors 1 < n ;

l'indice du vide : $n_0 = c/c = 1$

✓ l'indice de réfraction **n** reflète la tendance de la matière à ralentir la propagation des ondes électromagnétiques.

Remarque : Une radiation de **fréquence** ν et de **longueur d'onde** λ_0 dans le vide ($n_0=1$), sa **longueur d'onde** λ dans un **milieu d'indice de réfraction** **n**>1 s'exprime comme suit :

$$\lambda = v.T = \underbrace{\frac{v}{c}}_{1/n}.\underbrace{c.T}_{\lambda_0} = \frac{\lambda_0}{n}$$

D'où :

$$\lambda_0/\lambda = n$$

En passant de l'air, milieu d'indice de réfraction 1, vers un autre milieu matériel d'indice de réfraction n, la lumière change sa longueur d'onde λ, c'est-à-dire sa vitesse v et non pas sa fréquence ν ni sa période temporelle T

$$\lambda = v.T = \frac{\lambda_0}{n}$$

Remarque :

La longueur d'onde λ est inversement proportionnelle à **l'indice de réfraction n** du **milieu** où la radiation se propage.

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

Formule de Cauchy

Milieu dispersif

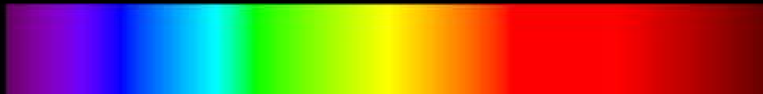
Milieu homogène : tout milieu dans lequel la lumière se propage avec une vitesse **v** constante. Donc **son indice de réfraction n** est aussi constant.

Milieu inhomogène **(non homogène)** : Tout milieu dans lequel **la lumière** se propage avec une vitesse **v** variable.

Donc son **indice de réfraction n** est aussi variable, dans ce milieu ($n=c/v$).

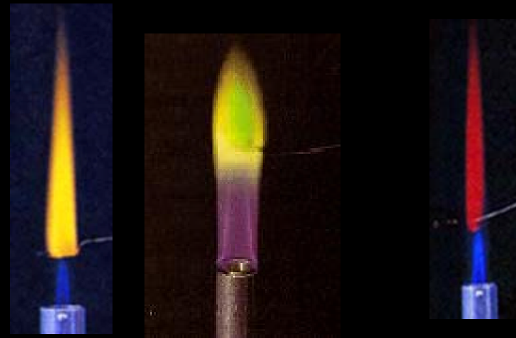
La lumière blanche est décomposée en plusieurs radiations visibles, définies par des couleurs, c'est-à-dire par la fréquence ν ou sa longueur d'onde λ. Chacune de ces radiations est dite simple ou monochromatique, car il est impossible de la décomposer en d'autres radiations.

400 nm **750 nm**

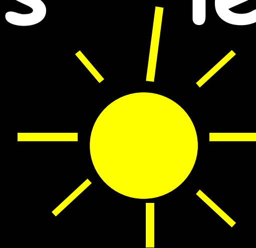


La longueur d'onde λ_0 de la lumière visible à l'œil, par rapport au vide n=1

Une source <u>monochromatique</u> est une source capable d'émettre une seule radiation, donc une seule couleur.



Une source de <u>la lumière blanche</u> est une source qui émet de la lumière blanche, c'est-à-dire **toutes les radiations**. Exemple : le Soleil



Source de lumière : Tout corps qui émet de la lumière est une source lumineuse. Cette source peut être :

* **Source principale** (bougie, lampe, étoile,...)

* **Source secondaire**. L'objet diffuse la lumière qu'il reçoit (La Lune, Planètes, vous, le mur, la table,...)

- Sources étendues :
  Soleil, écran de cinéma, Lampe,...
- Sources de faibles dimensions :
  Planètes,...
- Sources ponctuelles :
  étoile,...



- On appelle corps transparent tout corps qui laisse passer la lumière.

Exemple : l'eau, le verre, le cellophane,…

- On appelle corps opaque, tout corps qui arrête totalement la lumière.

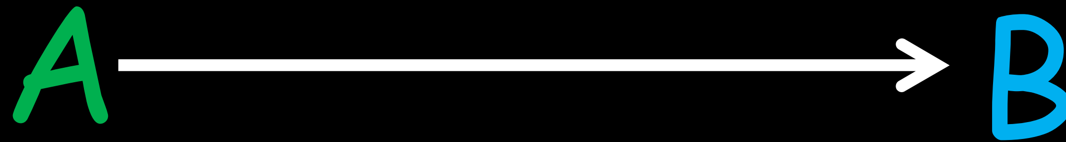
Exemple : le bois, l'acier, le marbre…


Cellophane


eau


bois

Un rayon lumineux est représenté par une droite AB sur laquelle on place une flèche indiquant le sens de propagation de la lumière.

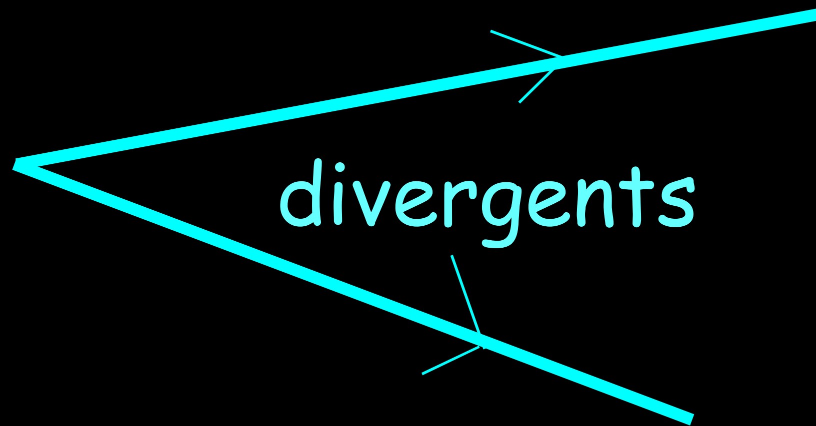


ou



- En pratique un rayon lumineux isolé n'existe pas.
- Les rayons sont toujours groupés en faisceaux. On distingue 3 sortes de faisceaux.

Faisceaux de rayons parallèles ou cylindriques





Pinceau : tout faisceau étroit est appelé un pinceau lumineux

Les fondements de l'optique géométrique

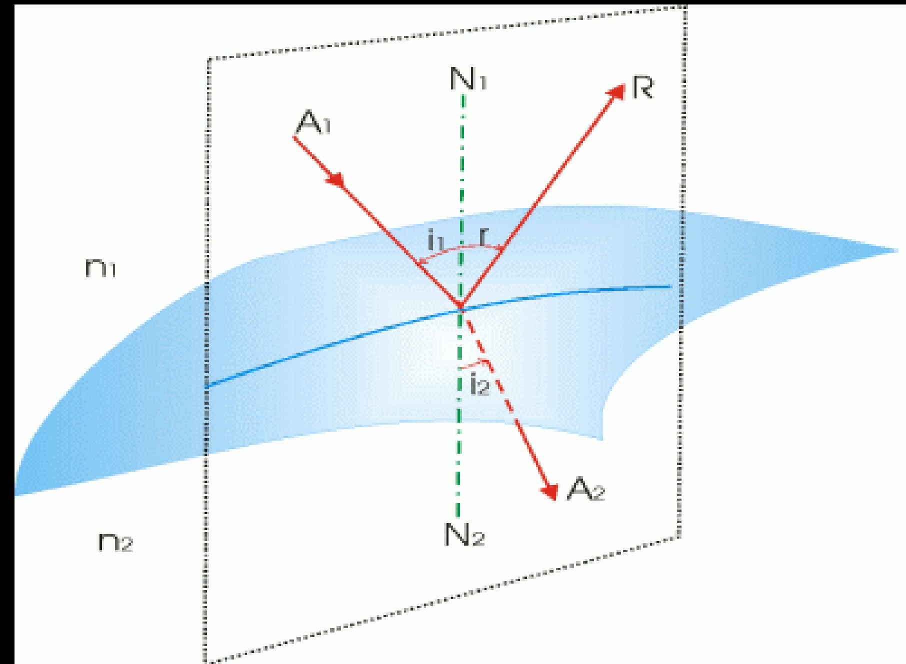
- L'optique géométrique repose sur la notion fondamentale du rayon lumineux. La lumière se propage en ligne droite dans un milieu homogène.
- L'optique géométrique schématise alors la lumière par un rayon lumineux.
- Le principe de retour inverse de la lumière :

$$A \rightarrow B \quad \text{alors} \quad B \rightarrow A$$

L'indépendance des rayons lumineux permet de décomposer un faisceau en rayons, et d'étudier séparément la marche de chaque rayon, ce qui constitue le but de l'optique géométrique.

Le comportement de ce rayon lumineux à la surface de séparation ou d'un miroir est décrit par **les lois de Snell-Descartes**.

Les **lois de Snell-Descartes** fixent la <u>direction</u> des faisceaux réfléchi et réfracté en fonction de celle du faisceau incident.



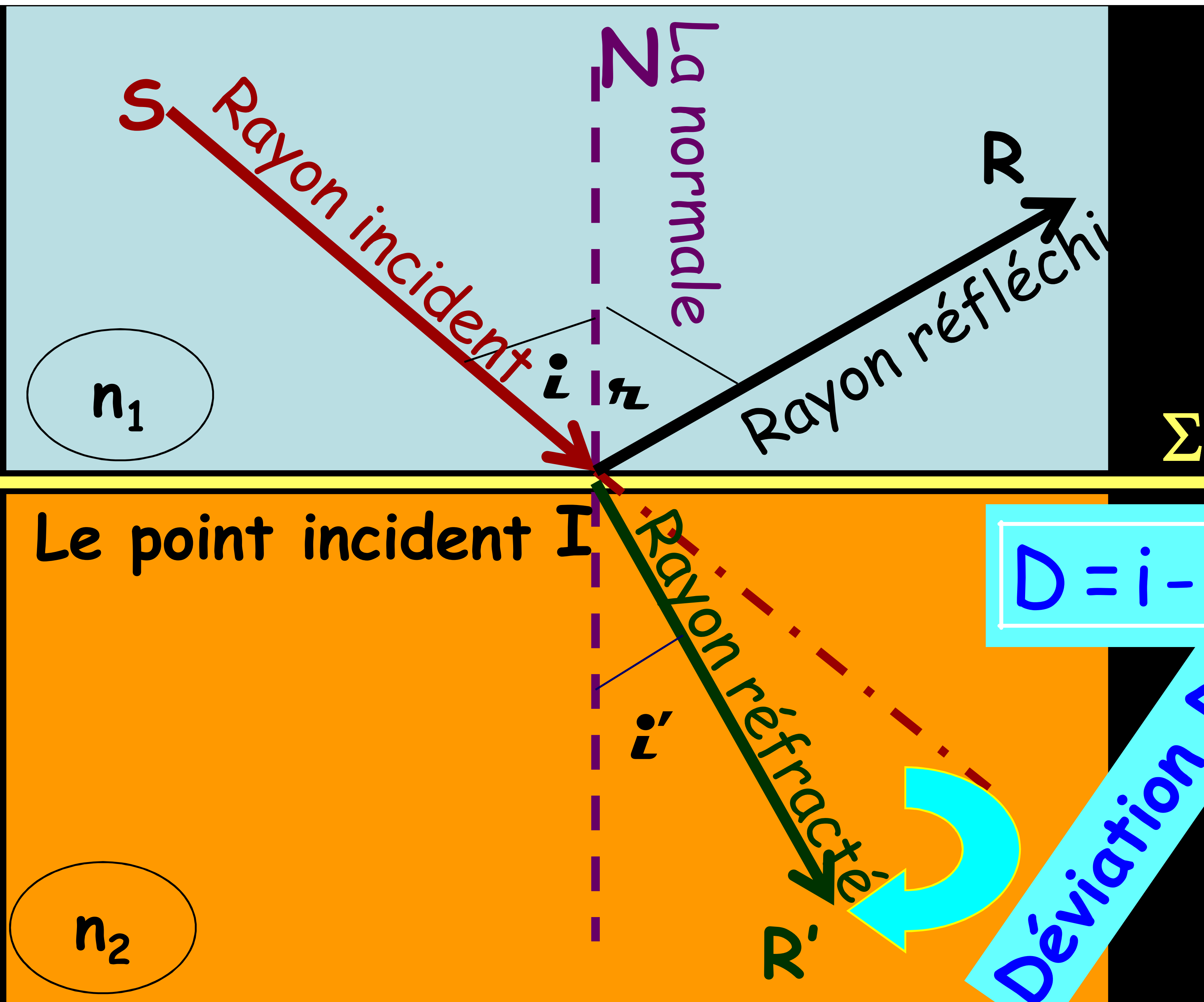


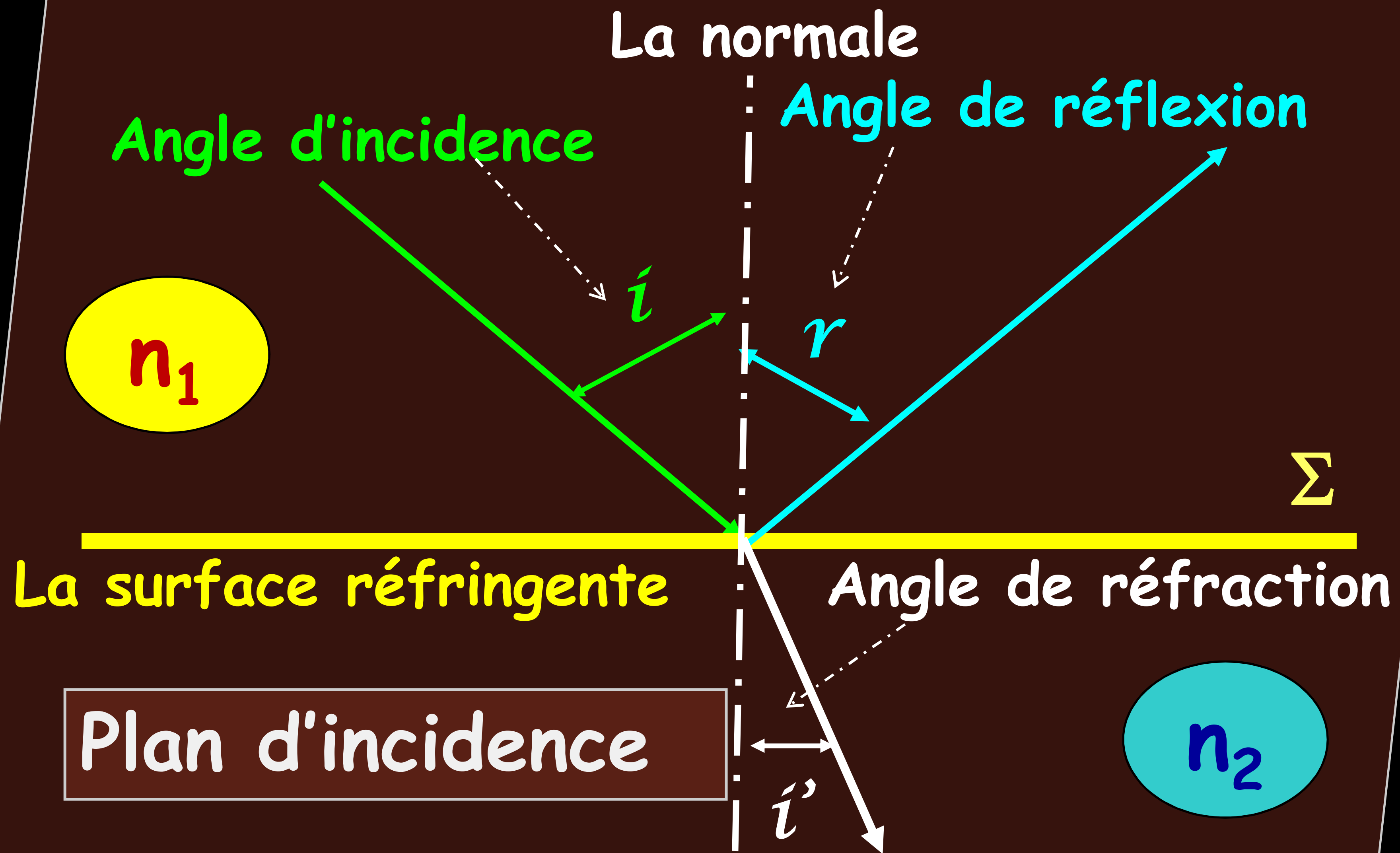
Les lois de Snell-Descartes :

1. Les lois de la réflexion

2. Les lois de la réfraction

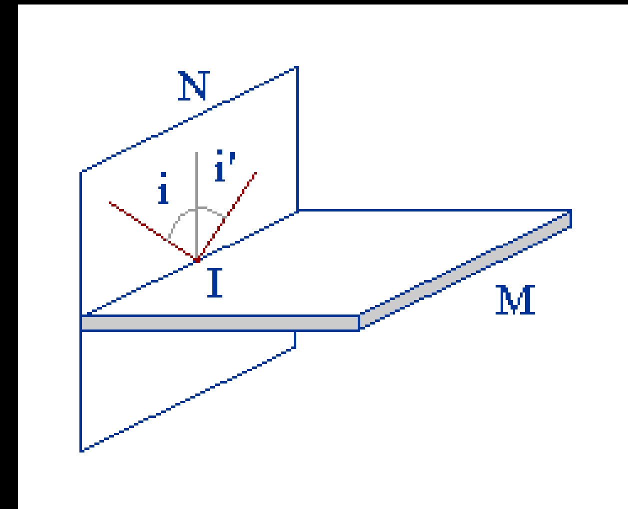



Surface de séparation
S
Rayon incident
N
La normale
R
Rayon réfléchi
i
r
n1
Σ
Le point incident I
Rayon réfracté
D = i - i'
i'
Déviation D
n2
R'

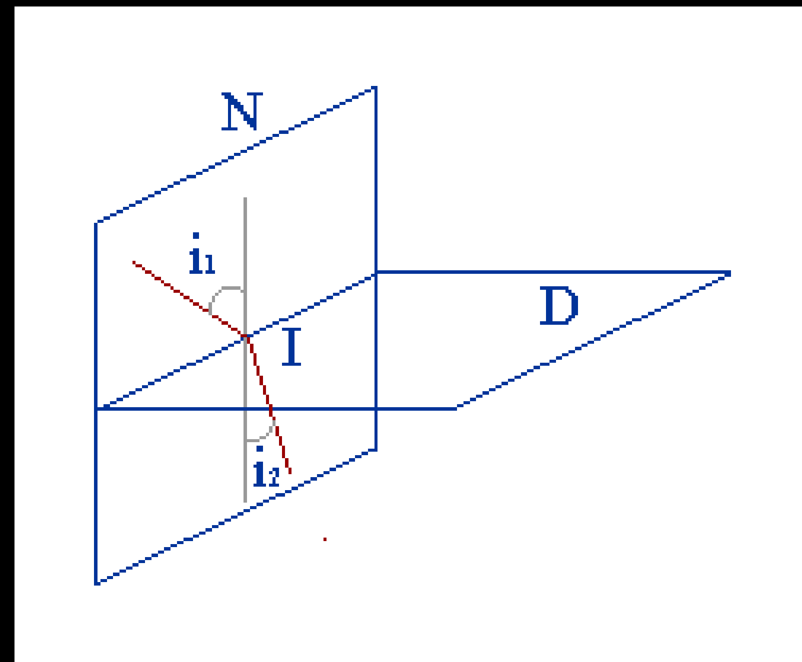

La normale
Angle de réflexion
Angle d'incidence
i
r
n1
Σ
La surface réfringente
Angle de réfraction
Plan d'incidence
n2
i'

1. Le rayon réfléchi et le rayon incident sont dans le plan d'incidence formé par la <u>normale et le rayon incident</u> (IN,SI)
2. L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence, ce qui se traduit par : <u>i = r</u>

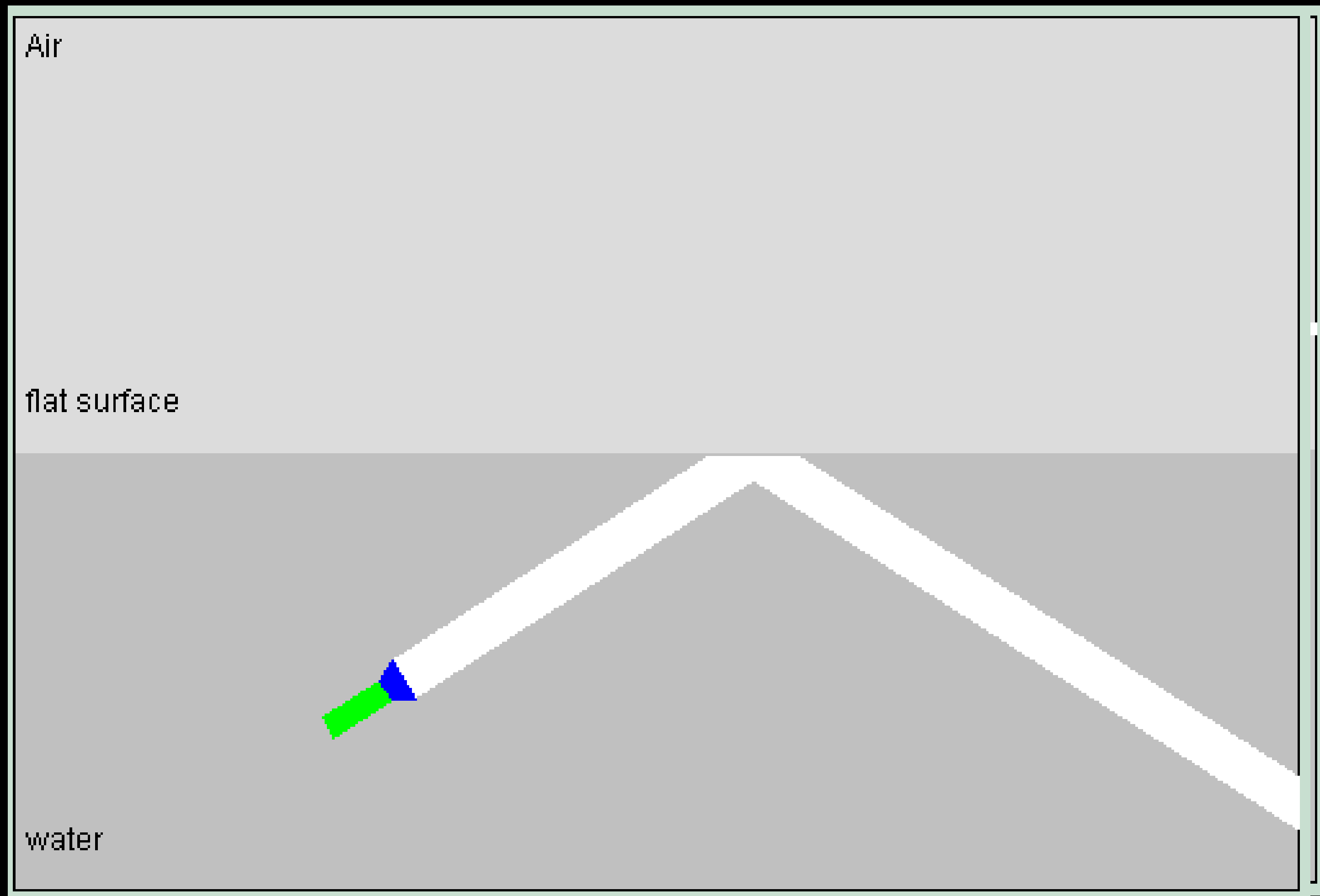


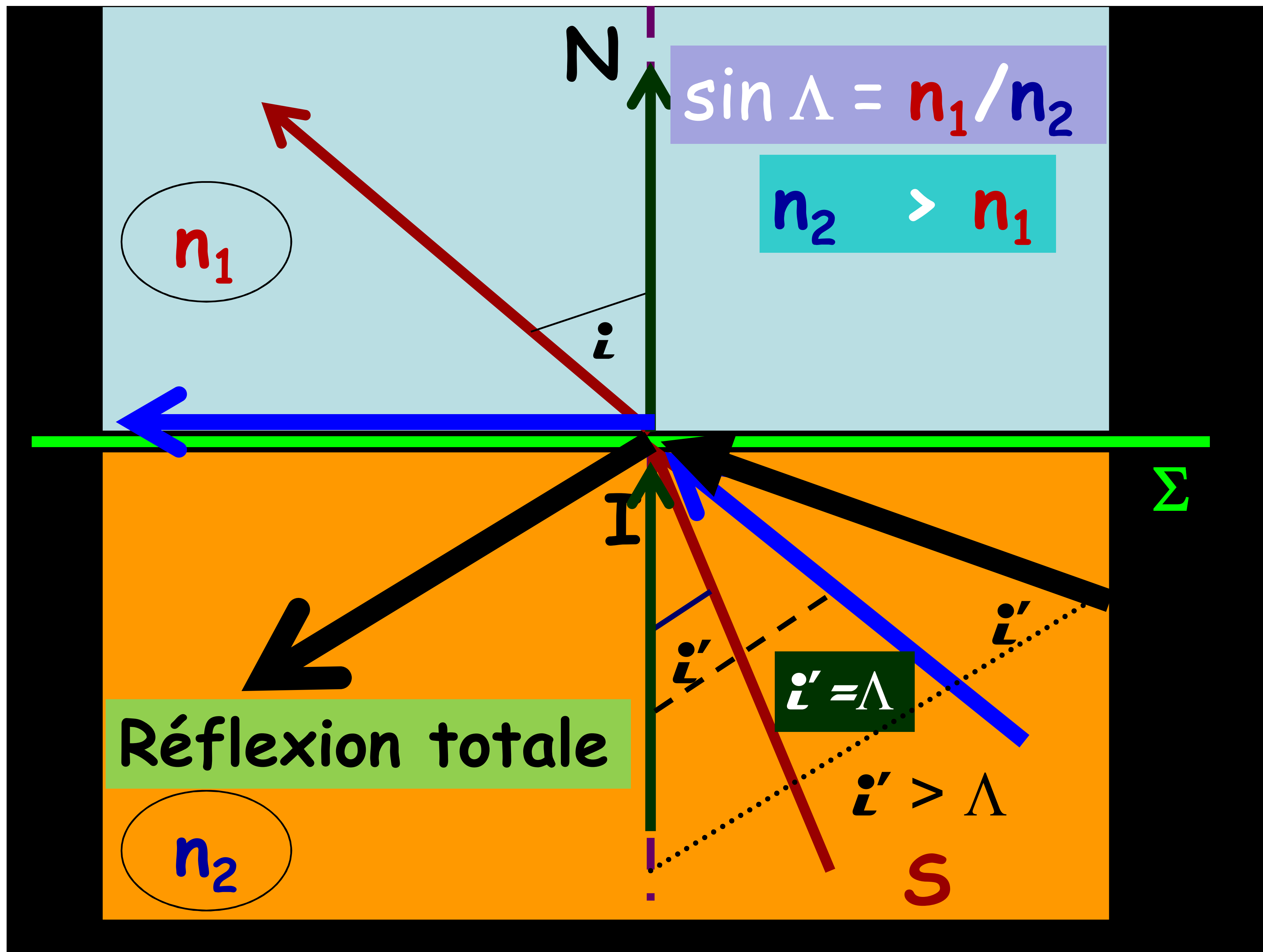


1. Les rayons réfracté et incident sont dans le même plan d'incidence défini par les deux vecteurs (IN,SI)
2. L'angle de réfraction i' et l'angle d'incidence i sont liés par la relation : $n_1.\sin i = n_2.\sin i'$

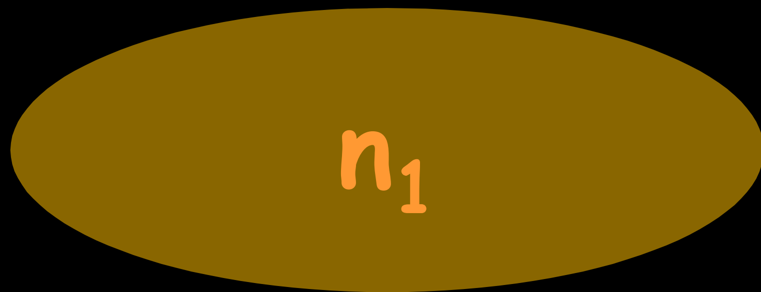


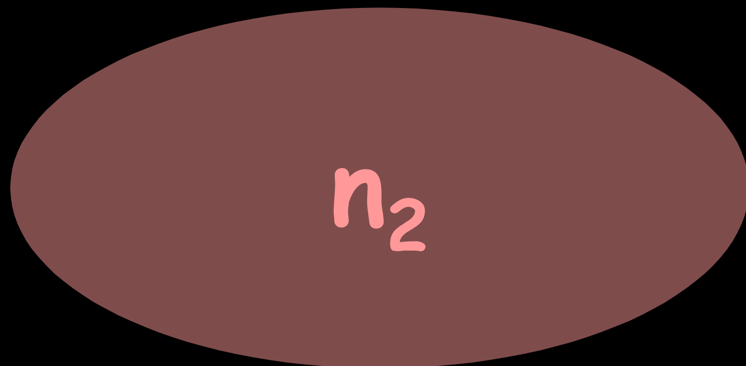
Angle de réfraction limite





N
sin Λ = n1/n2
n2 > n1
n1
i
I
Σ
i'
i'
i' =Λ
i' > Λ
Réflexion totale
n2
S





si $n_2 < n_1 \Rightarrow \sin\Lambda = \frac{n_2}{n_1}$

si $n_1 < n_2 \Rightarrow \sin\Lambda = \frac{n_2}{n_1}$

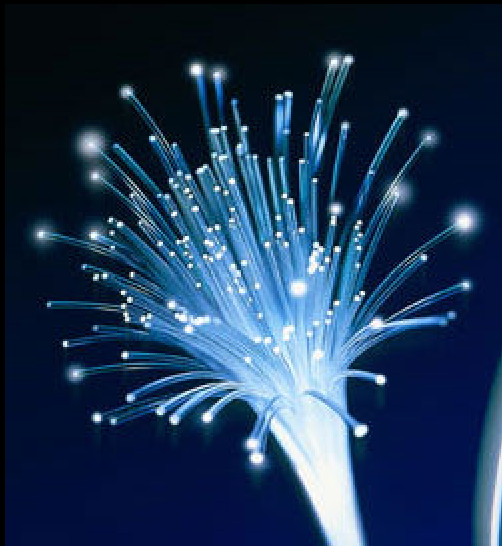
$$\sin\Lambda = \frac{n_{faible}}{n_{grand}}$$

L'angle de la réfraction limite Λ

L'angle de la réfraction limite Λ se trouve toujours dans le milieu le plus réfringent.

Quand la lumière se propage du milieu le plus réfringent vers le milieu le moins réfringent, la réflexion totale peut avoir lieu, à condition que l'angle d'incidence soit plus grand que Λ.

Le phénomène de la **réflexion totale** est utilisé pour canaliser la lumière, par exemple dans les **fontaines lumineuses** ou dans les **fibres optiques**, **l'endoscopie**, **fibroscopie** .



fibres optiques



$$\sin \Lambda_{eau-air} = \frac{n_0 = 1}{n_1 = \frac{4}{3}} = \frac{3}{4} = 0{,}75 \Rightarrow \Lambda_{eau-air} = 48°{,}59$$

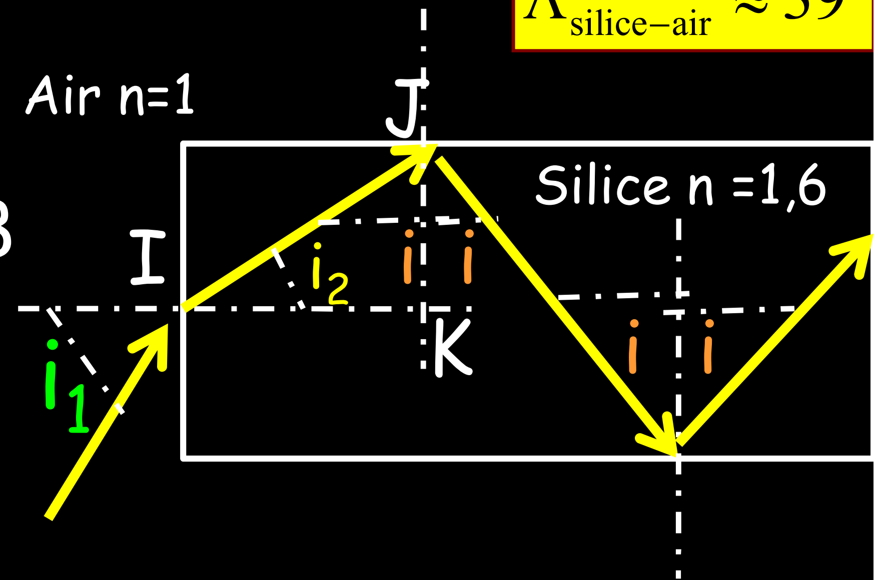
- Exercice 3 : Fibre optique **
- **A-** Avec les données du document 1 ci-dessous
- Calculer les angles i_1 et i_2 sachant que l'angle **i = 60°**
- Tracer la marche du rayon lumineux jusqu'à sa sortie du cylindre
- **B-** Un rayon lumineux arrive de l'air, **d'indice de réfraction n_0=1**, sous **une incidence i_e** et pénètre dans le cœur d'une fibre optique **d'indice de réfraction n_1**.
- Exprimer le **sinus** de l'angle de réfraction **r** en fonction de n_1 et de **l'incidence i_e**.
- L'angle d'incidence sur la surface de séparation cœur - gaine est **i**. Donner la relation entre **i** et **r** et l'expression de cos i.
- L'indice de la gaine a pour valeur n_2 ($n_2 < n_1$). Exprimer le sinus de **l'angle de réfraction limite** Λ de réfraction entre les milieux d'indice n_2 et n_1.
- **C-** Trouver la condition pour qu'un rayon lumineux puisse se propager dans la fibre (document 2).

$\Lambda_{silice-air} \approx 39^\circ$

$i + i_2 + \hat{K} = 180^\circ \Rightarrow \boxed{i_2 = 30^\circ}$

$1.\sin i_1 = n.\sin i_2 = 1,6.0,5 = 0,8$

$\sin i_1 = 0,8 \Rightarrow \boxed{i_1 = 53^\circ}$

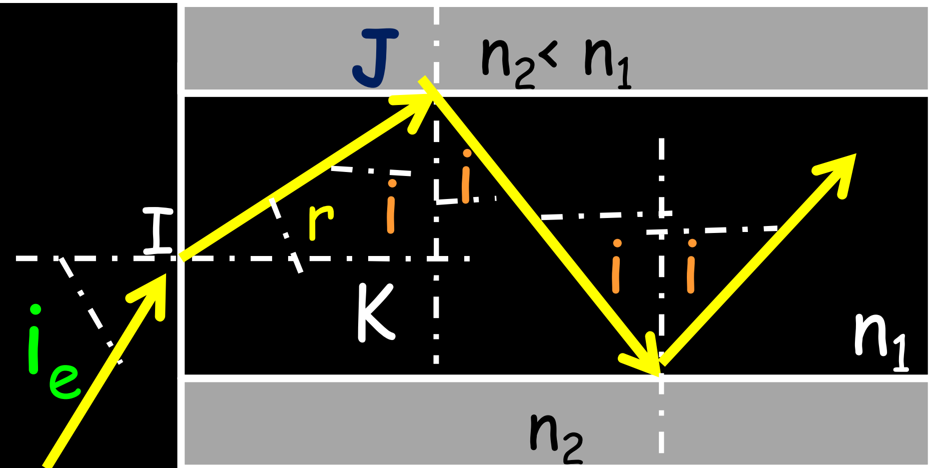


$$\sin \Lambda = \frac{1}{n} = \frac{1}{1,6} = 0,625 \Rightarrow \boxed{\Lambda = 38,68^\circ}$$

Comme on a $i > \Lambda$, alors on a une réflexion totale au point J. De proche en proche, le rayon lumineux se propage le long de la fibre jusqu'à sa sortie.

$$n_0 . \sin i_e = n_1 . \sin r$$

$$\underbrace{n_0}_{1} \sin i_e = n_1 . \sin r$$



$$r + i = 90 \Rightarrow \sin i = \cos r$$

$$\sin \Lambda = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\sin^2 i_e = n^2{}_1 . \sin^2 r = n^2{}_1 . \left(1 - \cos^2 r\right) = n^2{}_1 . \left(1 - \sin^2 i\right)$$

Pour que le rayon lumineux se propage dans la fibre, il faut qu'il subisse une réflexion totale au point J. Donc il faut que l'angle i soit supérieur à l'angle de réfraction limite Λ. Dans le cas affirmatif, de proche en proche, le rayon lumineux se propage le long de la fibre jusqu'à sa sortie.

$$i > \Lambda_{C-G} \Rightarrow \sin i > \sin \Lambda_{C-G} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin^2 i > \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

$$\sin^2 i_e = n^2{}_1 . \left(1 - \sin^2 i\right) < n^2{}_1 . \left(1 - \frac{n^2{}_2}{n^2{}_1}\right)$$

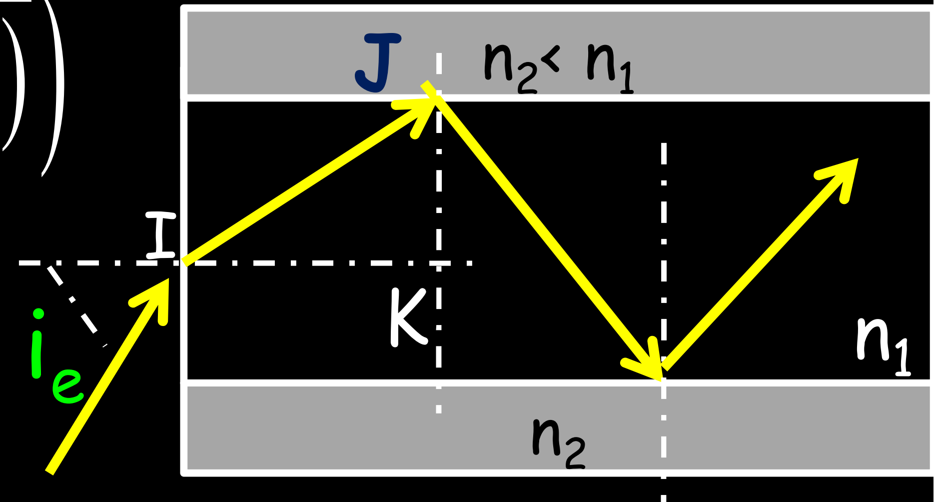
$$\sin^2 i_e < \left(n^2{}_1 - n^2{}_2\right)$$

$$\sin i_e < \sqrt{\left(n^2{}_1 - n^2{}_2\right)} \Rightarrow \boxed{i_e < \underbrace{\arcsin\left(\sqrt{\left(n^2{}_1 - n^2{}_2\right)}\right)}_{\left(i_e\right)_{max}}}$$

$$\sin i_e < \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \Rightarrow \boxed{i_e < \underbrace{\arcsin\left(\sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}\right)}_{(i_e)_{max}}}$$

$$(i_e)_{max} = \arcsin\left(\sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}\right)$$

$$\boxed{i_e \leq (i_e)_{max} = \arcsin\left(\sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}\right)}$$

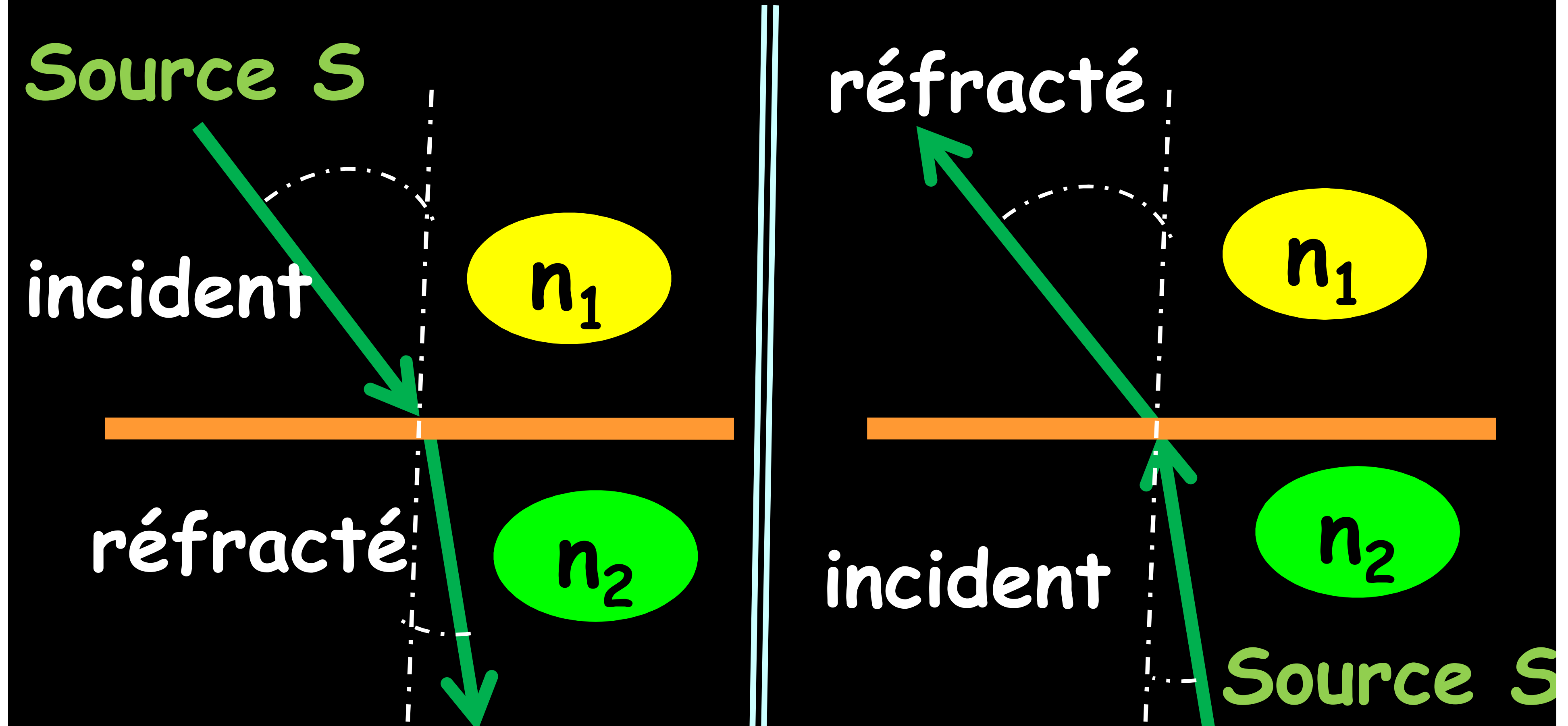


Il faut éclairer la fibre avec une lumière dont l'incidence i_e vérifie l'inégalité. C'est la condition pour qu'un rayon lumineux puisse se propager le long de la fibre optique.

Fin de l'exercice 3

Le principe du retour inverse de la lumière est bien vérifié :

$$n_1.\sin i = n_2.\sin i' \Leftrightarrow n_2.\sin i' = n_1.\sin i$$



- **Remarques** : Lorsque les angles i et i' sont petits, $angle \leq 15°$

la **loi de Snell-Descartes** pour la réfraction prend la forme simplifiée : $n_1 . i \sim n_2 . i'$

connue sous le nom de « **la loi de Kepler** »



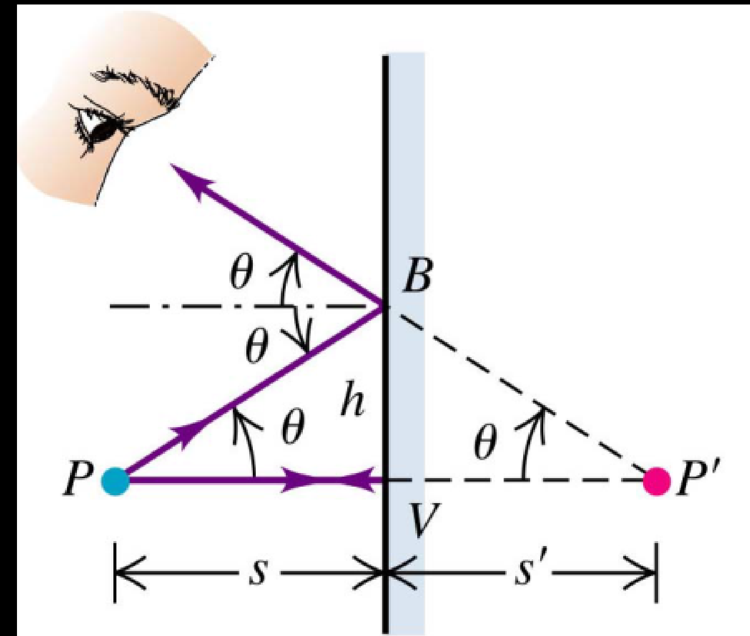
En appliquant le **principe de la propagation rectiligne** de la lumière, **l'optique géométrique** se propose d'étudier comment les **rayons lumineux**, partant des **objets**, cheminent en subissant des **réflexions** et des **réfractions** à travers divers milieux transparents appelés **systèmes optiques**, et concourent à la **formation des images**.

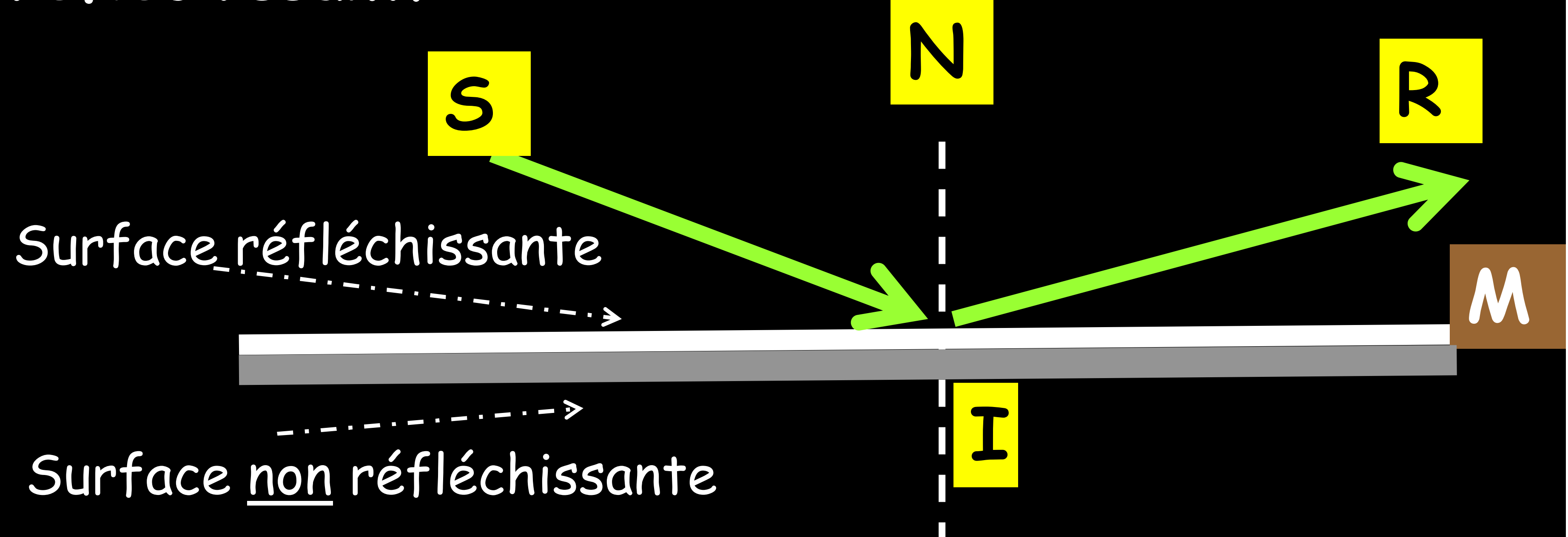
Le miroir plan

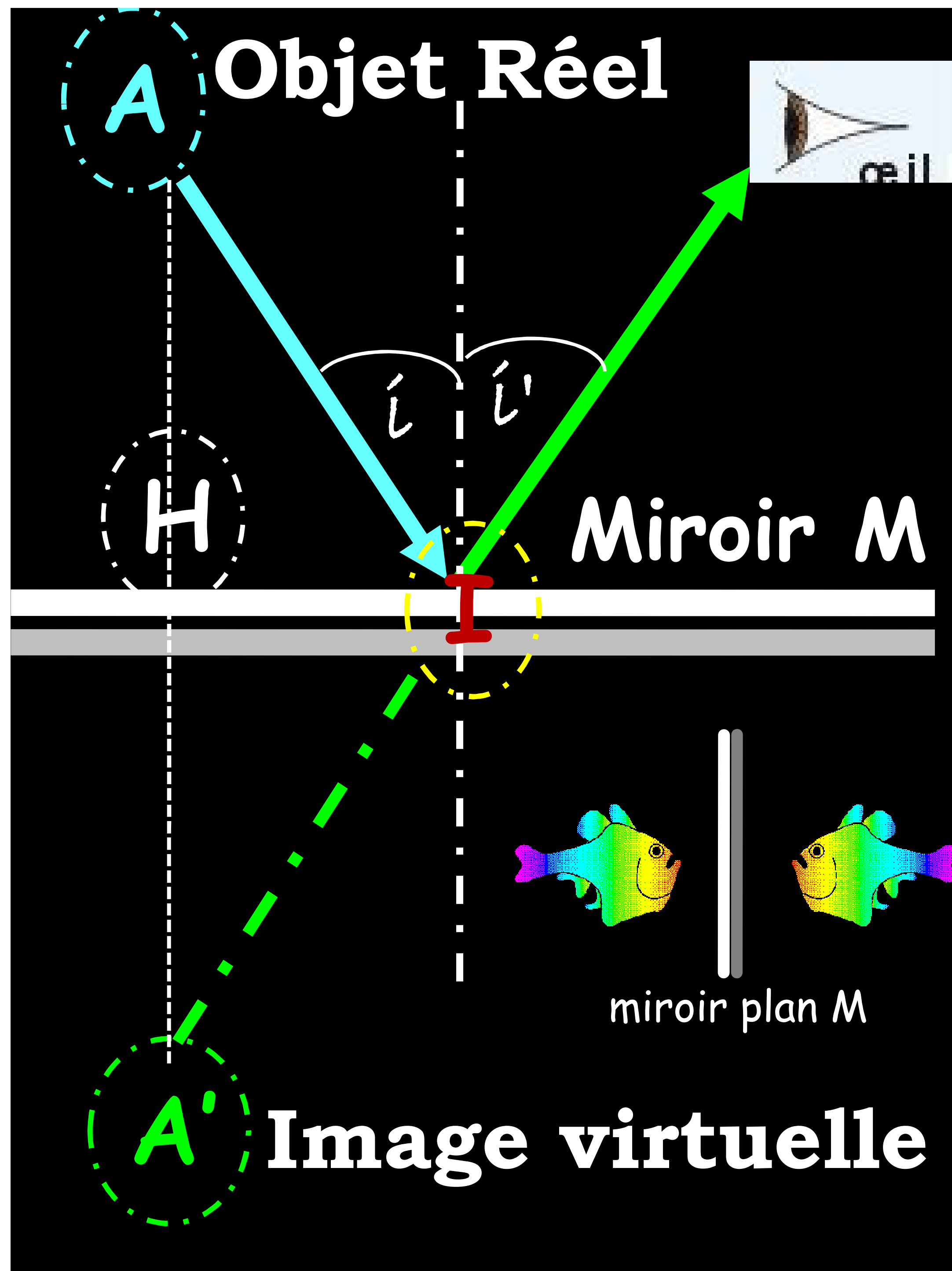
On appelle miroir plan une surface réfléchissante parfaitement plane polie recouverte d'une mince couche métallique (argent ou aluminium).



Un tel miroir M est généralement représenté par la trace de son plan disposé normalement au plan de figure. On couvre de **hachures** le **côté non réfléchissant**.



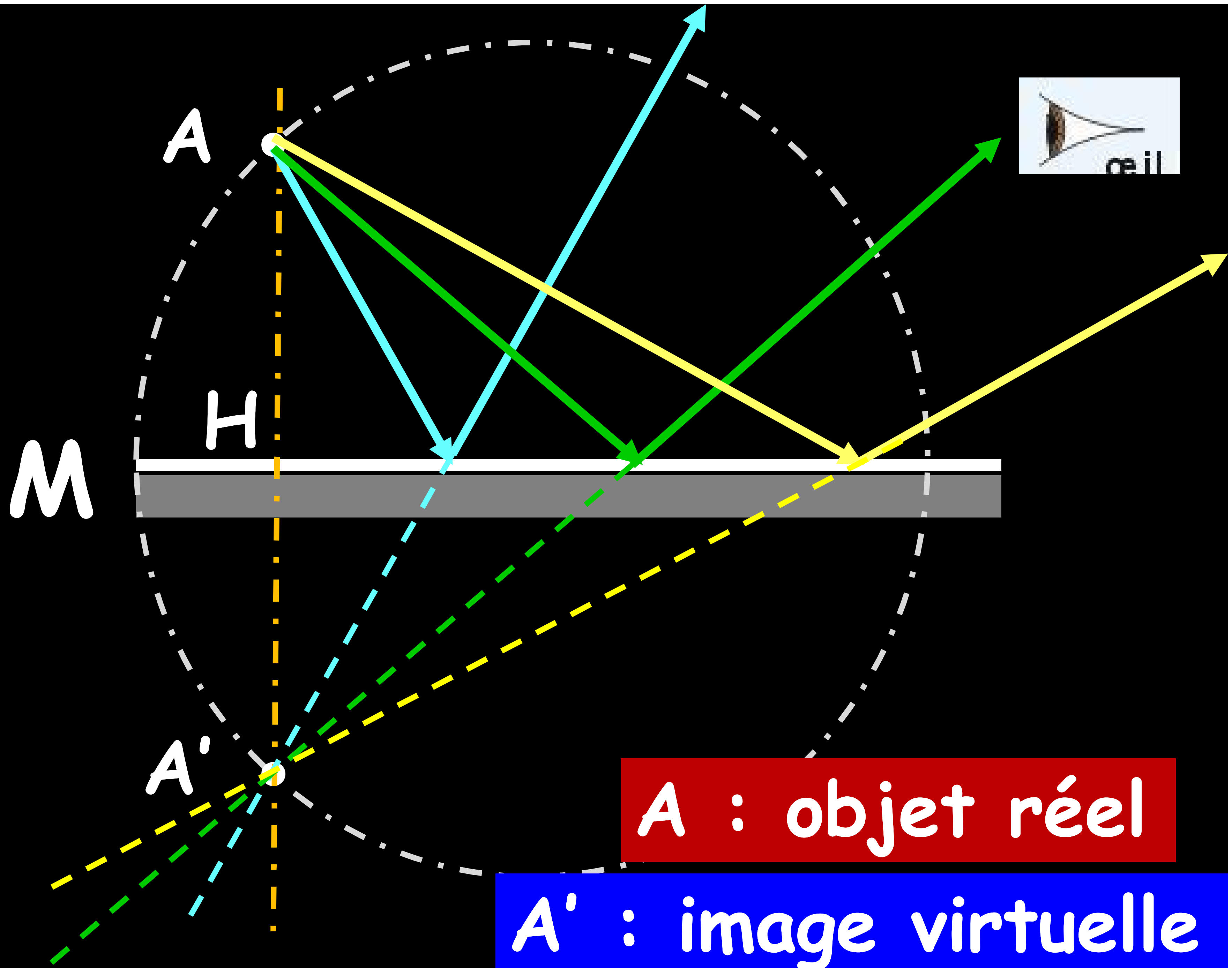




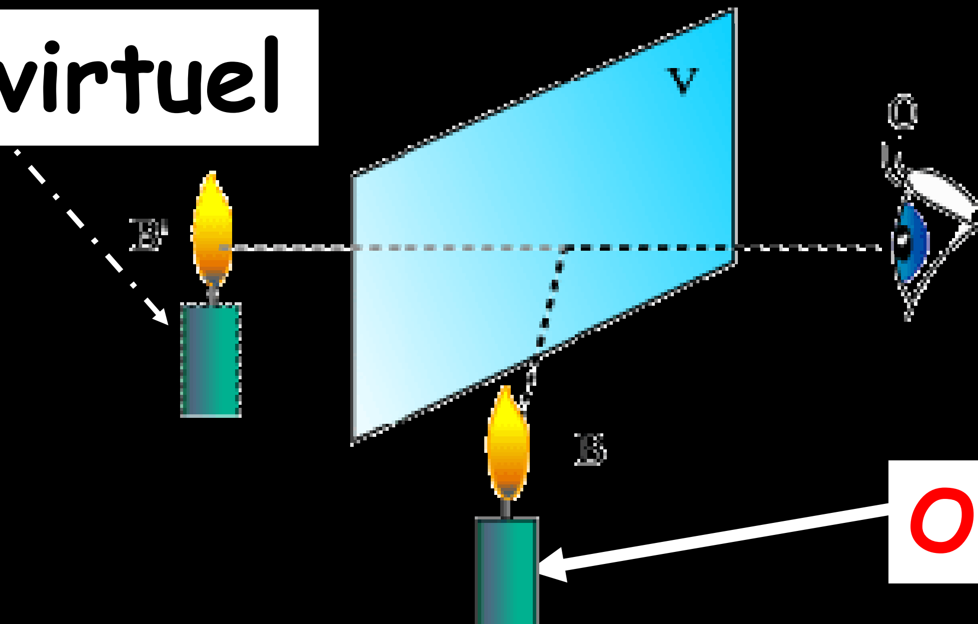
L'objet A et son image A', fournie par le miroir M, sont **symétriques** par rapport à M

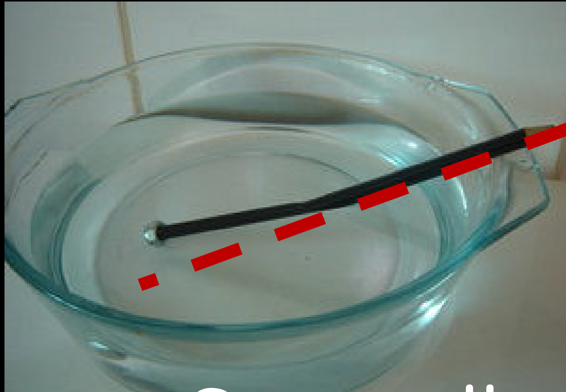
$$\overline{AH} = \overline{HA'}$$

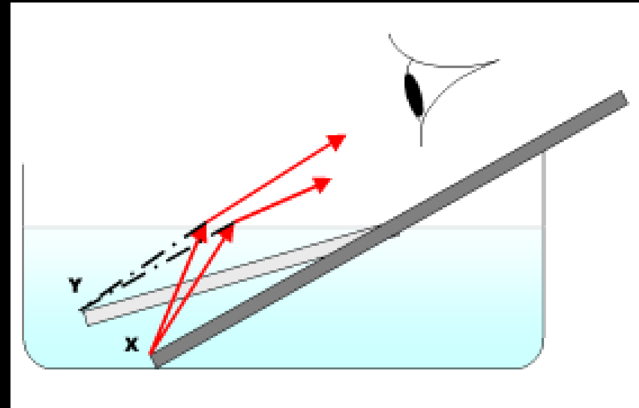
A et A' sont conjugués par le miroir plan M


A
H
M
œil
A'
A : objet réel
A' : image virtuelle

- **Objet réel** : quand des rayons lumineux sont réellement issus de cet objet
- **Objet virtuel** : quand les rayons lumineux <u>semblent</u> provenir de cet objet. Cet objet est l'intersection des prolongements des rayons lumineux.



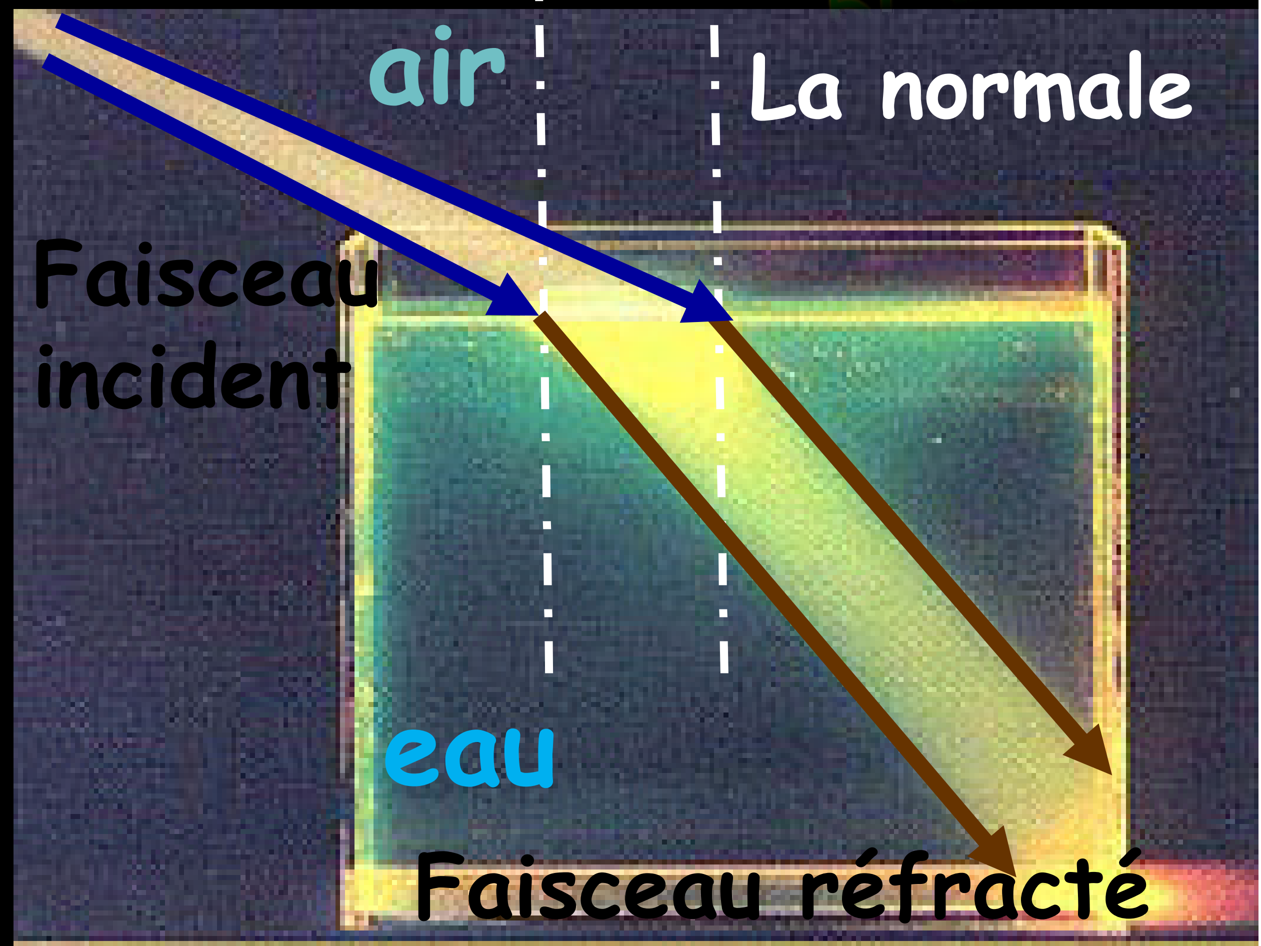




LE DIOPTRE PLAN

On appelle **dioptre plan** la surface plane séparant deux milieux transparents et homogènes d'indices absolus n_1 et n_2 différents

$n_1 \neq n_2$



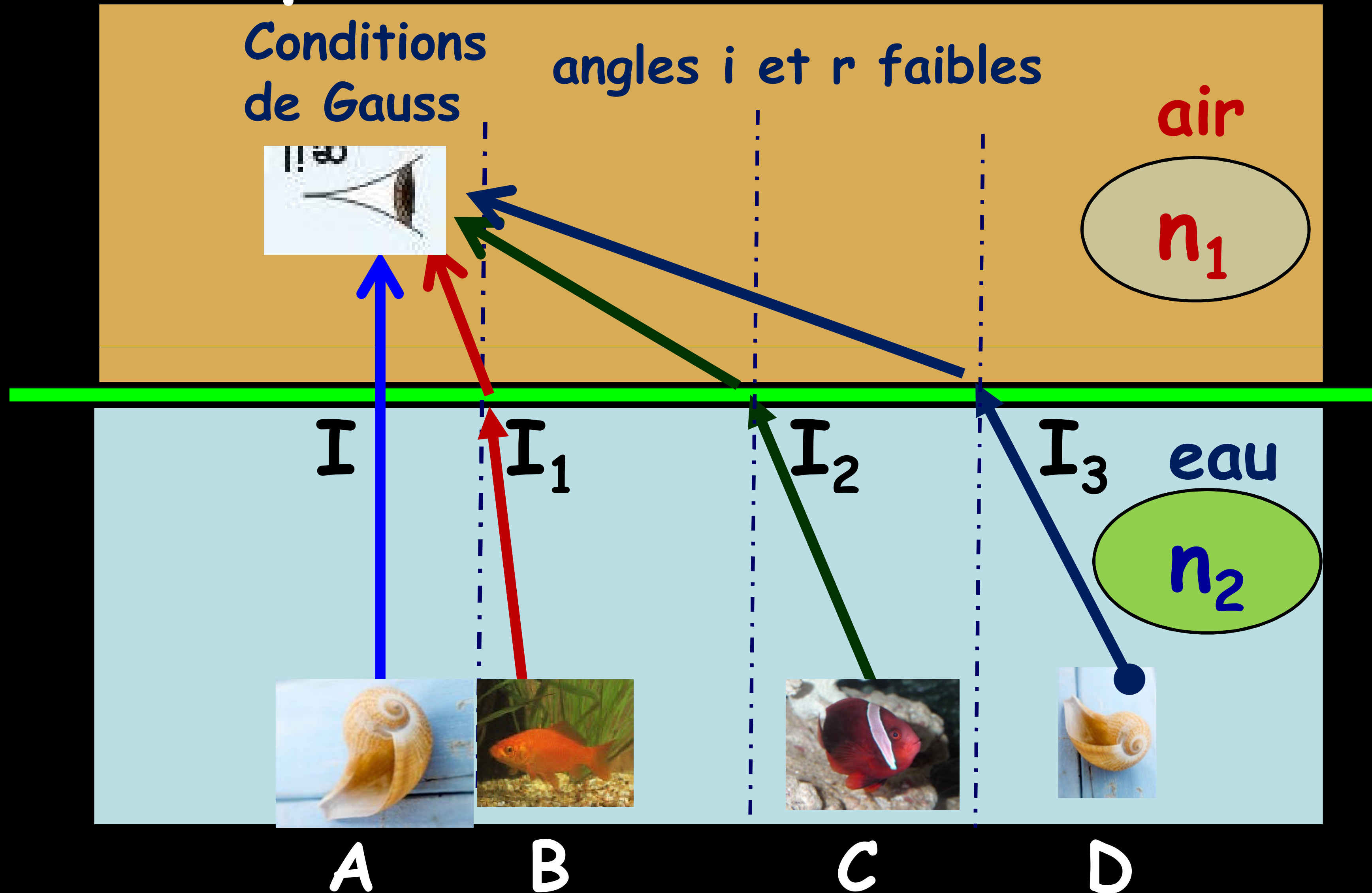
Conditions de Gauss

Lorsque le point objet n'envoie que des rayons incidents sensiblement proches à la normale au dioptre plan, autrement dit pour des angles i et r faibles, et les lois de Snell-Descartes s'écrivent comme suit :

$$\underbrace{i = r}_{\text{Reflexion}} \quad \text{et} \quad \underbrace{n_1 . i = n_2 . i'}_{\text{Refraction}}$$

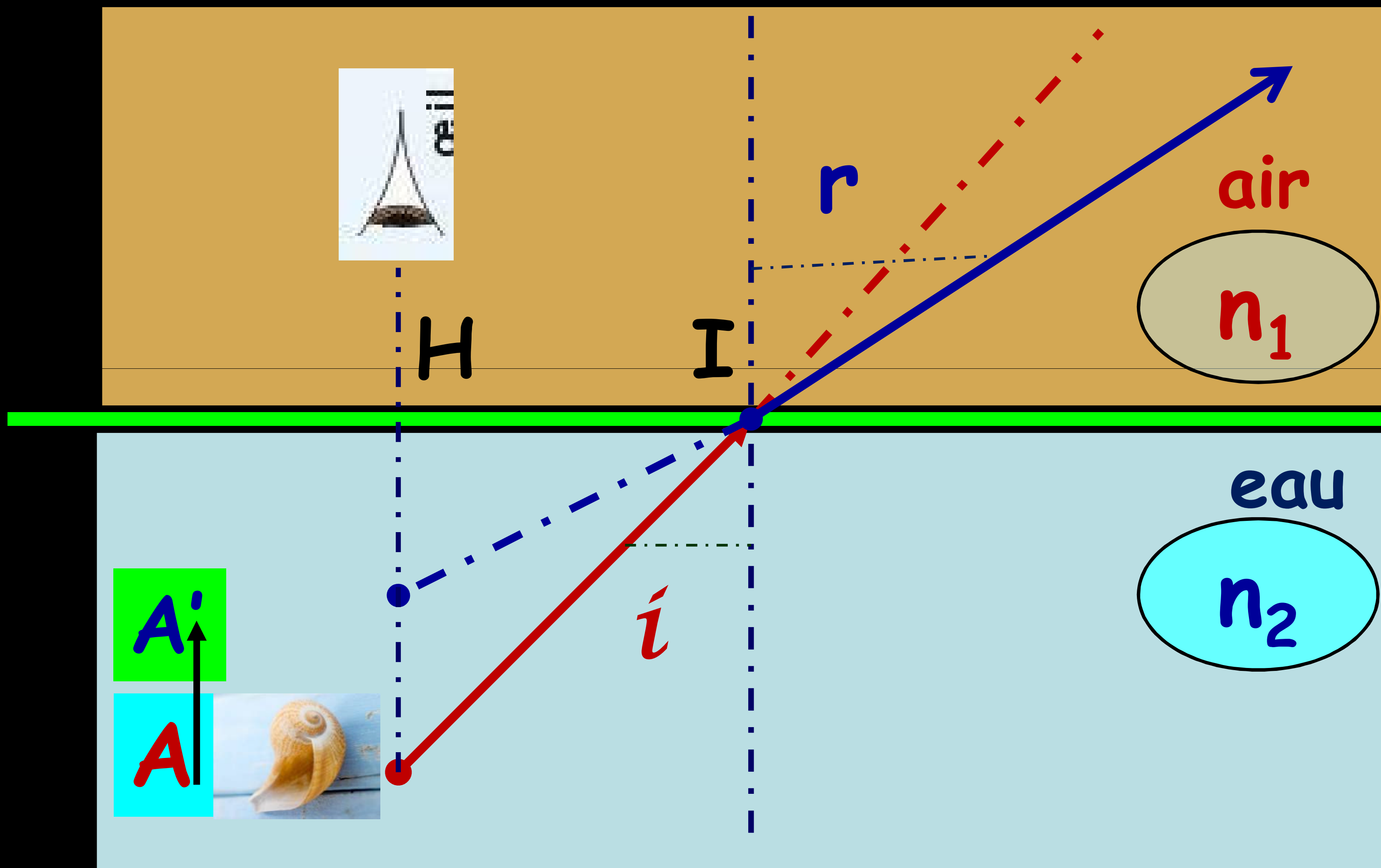
$n_1 < n_2$

A et B sont vus nettement, par contre C et D sont flous



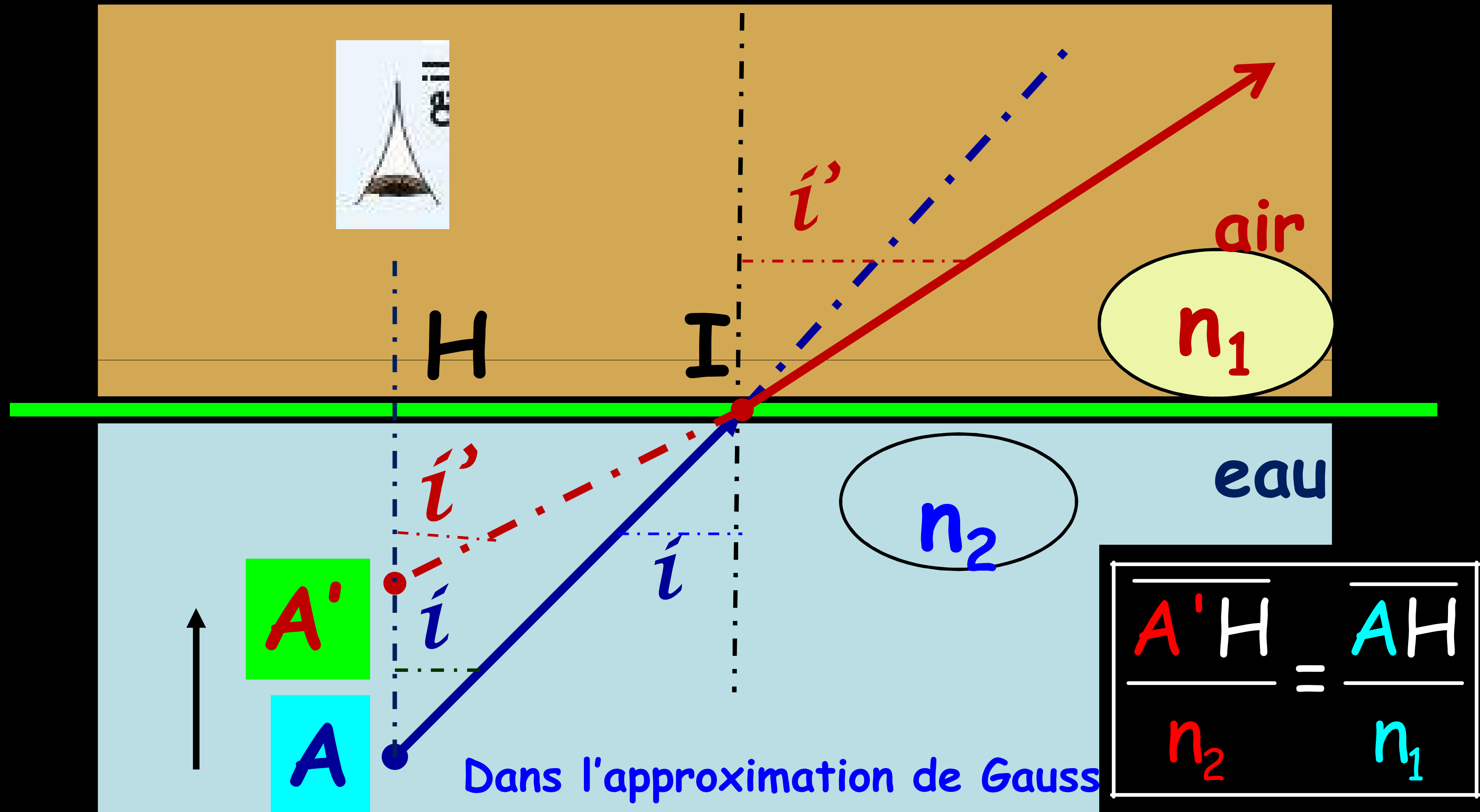
L'image d'un objet placé dans le milieu le plus réfringent :

- En ramassant une roche ou un coquillage que nous voyons sous l'eau, à portée de la main, nous sommes généralement étonnés de devoir enfoncer le bras plus que nous ne l'avions prévu.
- Un bassin parait toujours plus profond quand il est vide.


n1 < n2
i ≤ Λ avec sin(Λ) = n1/n2
œil
r
air
n1
H
I
eau
n2
A'
A
i
A' est une image virtuelle

$n_1 < n_2$

$$tg\,i = \frac{\overline{HI}}{\overline{AH}} \quad \text{et} \quad tg\,i' = \frac{\overline{HI}}{\overline{A'H}} \qquad \overline{AH}.i = \overline{A'H}.i' \Rightarrow$$



La relation de conjugaison d'un dioptre plan

- Il est à remarquer que les points objet A et son image A' sont situés dans le même milieu. Donc, si l'un réel, l'autre est forcément virtuel.
- Le point image A' se déduit alors de son point objet A par une translation apparente d'amplitude :

$$\frac{\overline{A'H}}{n_2} = \frac{\overline{AH}}{n_1}$$

$$\overline{AA'} = \overline{AH} + \overline{HA'} = \overline{AH} - \overline{A'H} = \overline{AH}.\left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right)$$

Relation de conjugaison d'un dioptre plan (n_1, n_2)

$n_1 < n_2$

n_1 air



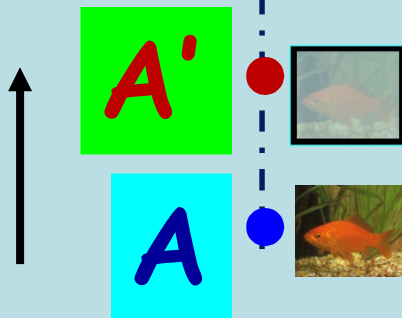
$$\frac{\overline{A'H}}{n_2} = \frac{\overline{AH}}{n_1}$$

H

Conditions de Gauss

A'

A



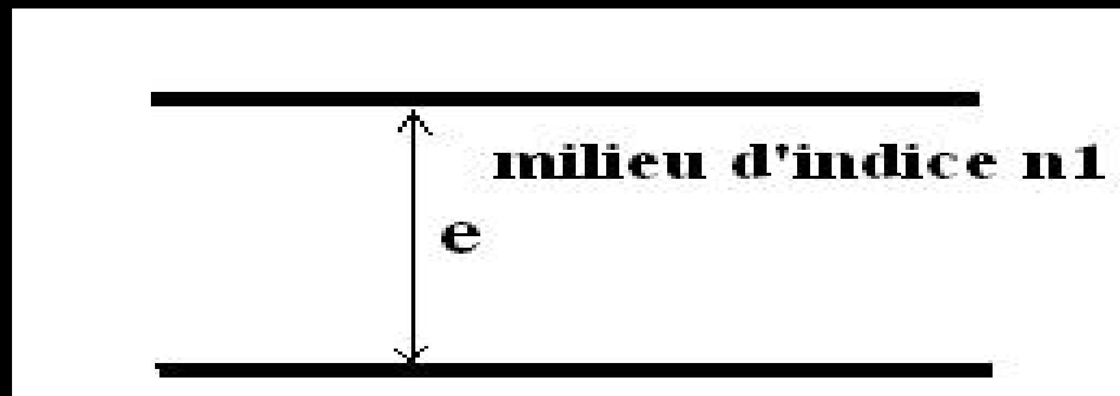
$$\overline{AA'} = \overline{AH}.\left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right)$$

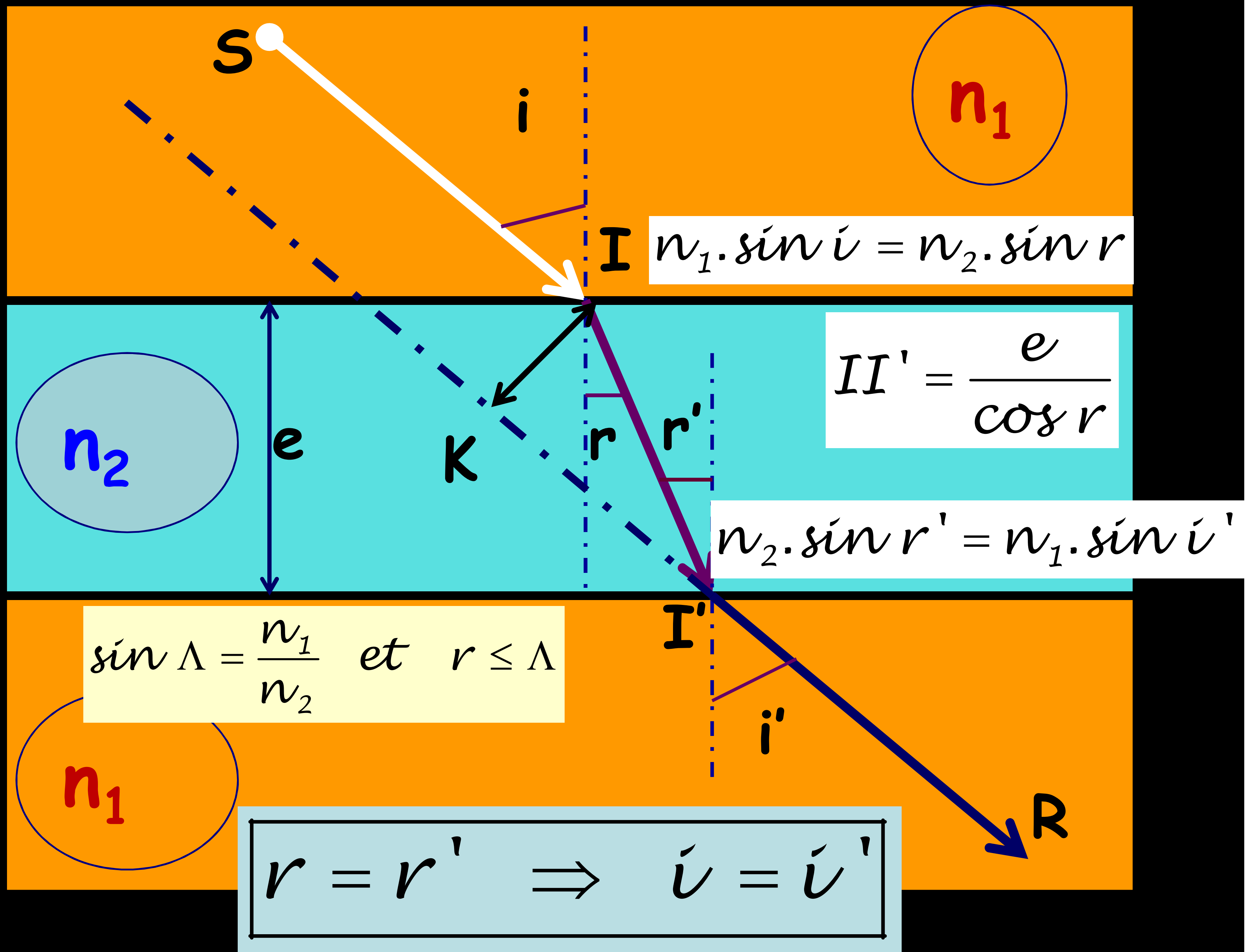
eau

n_2

Lame à faces parallèles

Définition : Une lame à faces parallèles est un milieu homogène et transparent limité par deux dioptres plans parallèles, à une distance e qui est l'épaisseur de la lame. Les milieux extrêmes peuvent être différents ou identiques.



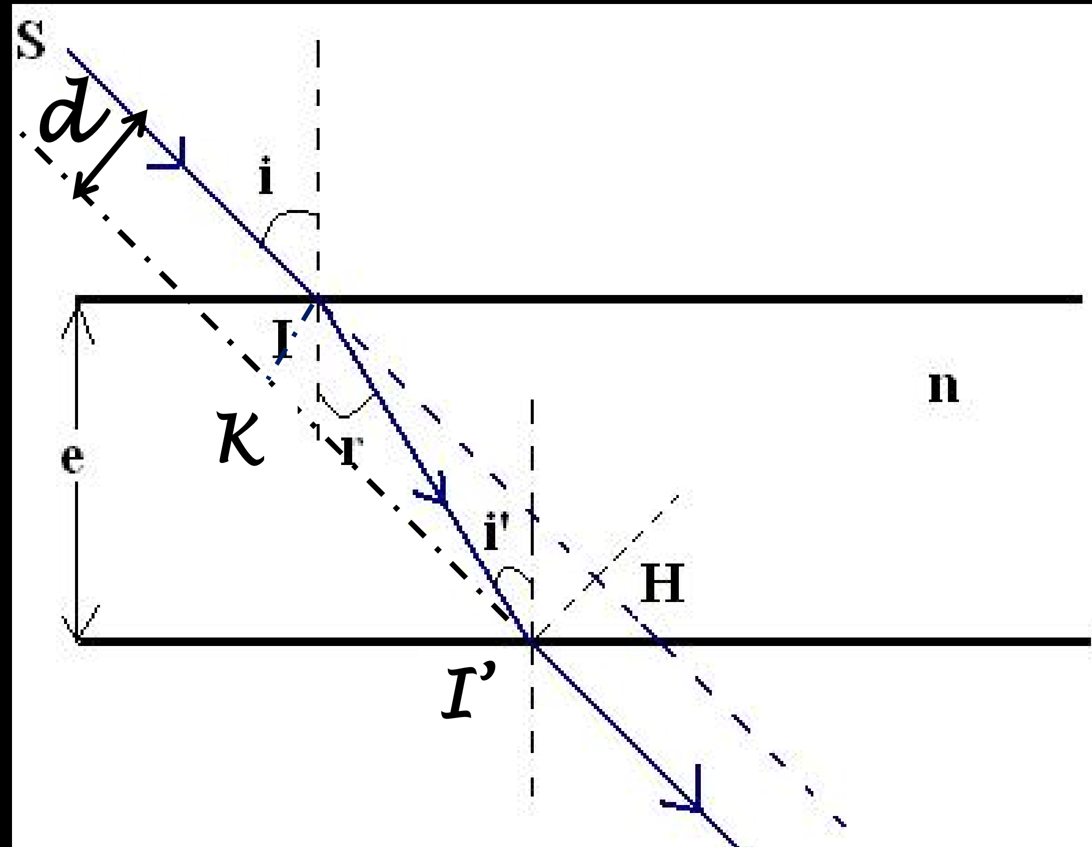


S
i
n_1
I
$n_1.\sin i = n_2.\sin r$
$II' = \dfrac{e}{\cos r}$
n_2
e
K
r
r'
$n_2.\sin r' = n_1.\sin i'$
I'
$\sin \Lambda = \dfrac{n_1}{n_2} \quad et \quad r \leq \Lambda$
i'
n_1
R
$r = r' \Rightarrow i = i'$

$$d = \overline{I'H} = \overline{IJ}.\sin(i - r) \text{ avec } \overline{II'} = \frac{e}{\cos r}$$

$$\boxed{\overline{I'H} = \overline{IK} = d = \frac{e}{\cos r}.\sin(i - r)}$$

Translation de la quantité **d** du rayon lumineux d'incidence i, par la lame à faces parallèles d'épaisseur **e** et d'indice de réfraction **n**



Si on se place dans les condition de Gauss, à savoir : i et r sont des angles petits

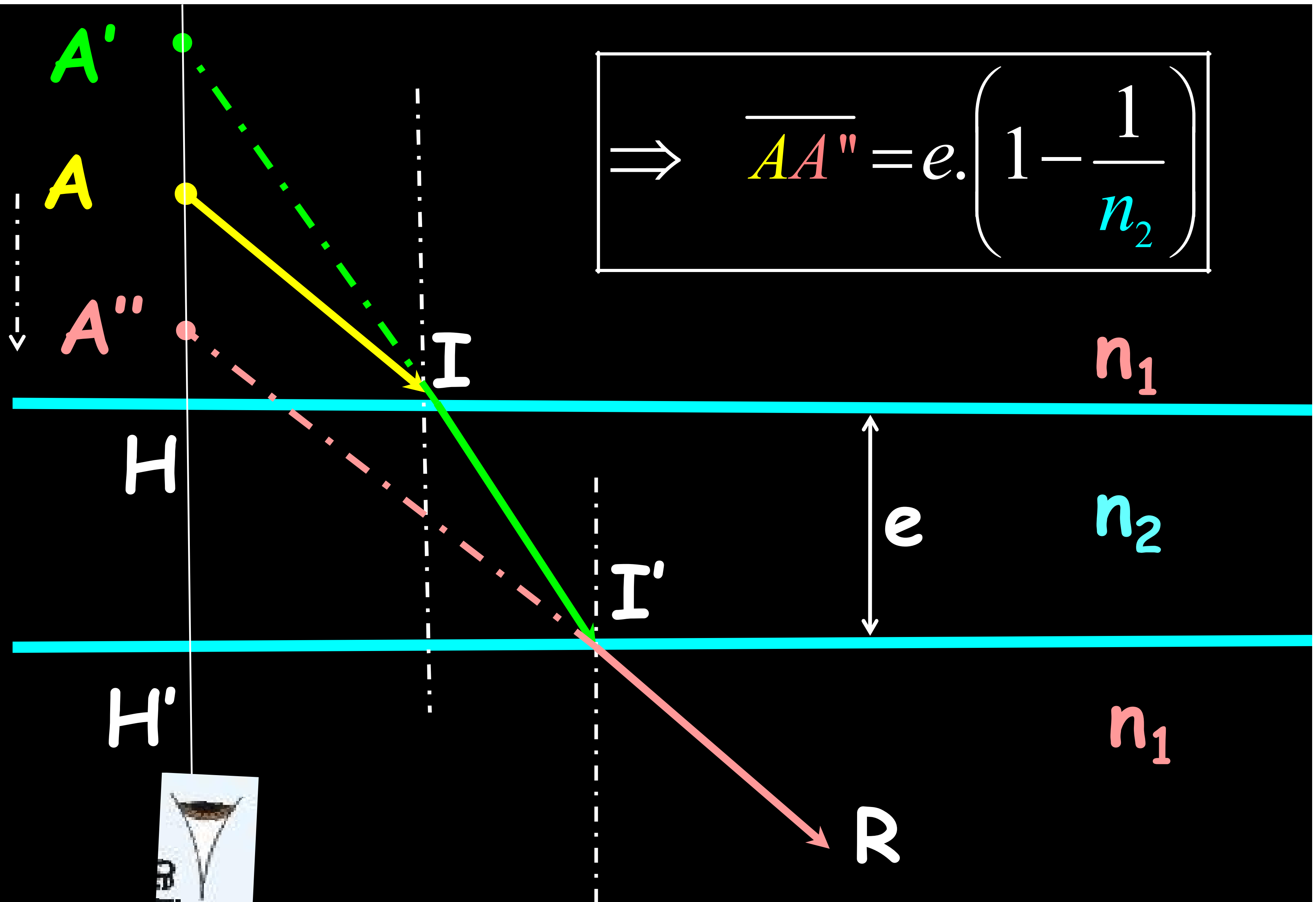
(i < 15 ° & r < 15°)

$$\sin i = n.\sin r \quad \Leftrightarrow \quad i = n.r$$

$$\text{et} \quad \overline{IH} = d = \frac{e}{\cos r}.\sin(i - r)$$

$$\text{avec} \quad \sin(i - r) \approx i - r \approx i.\left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad \text{et} \quad \cos r \approx 1$$

$$\boxed{\overline{IH} = \overline{JS'} = d = e.i.\left(1 - \frac{1}{n}\right)}$$

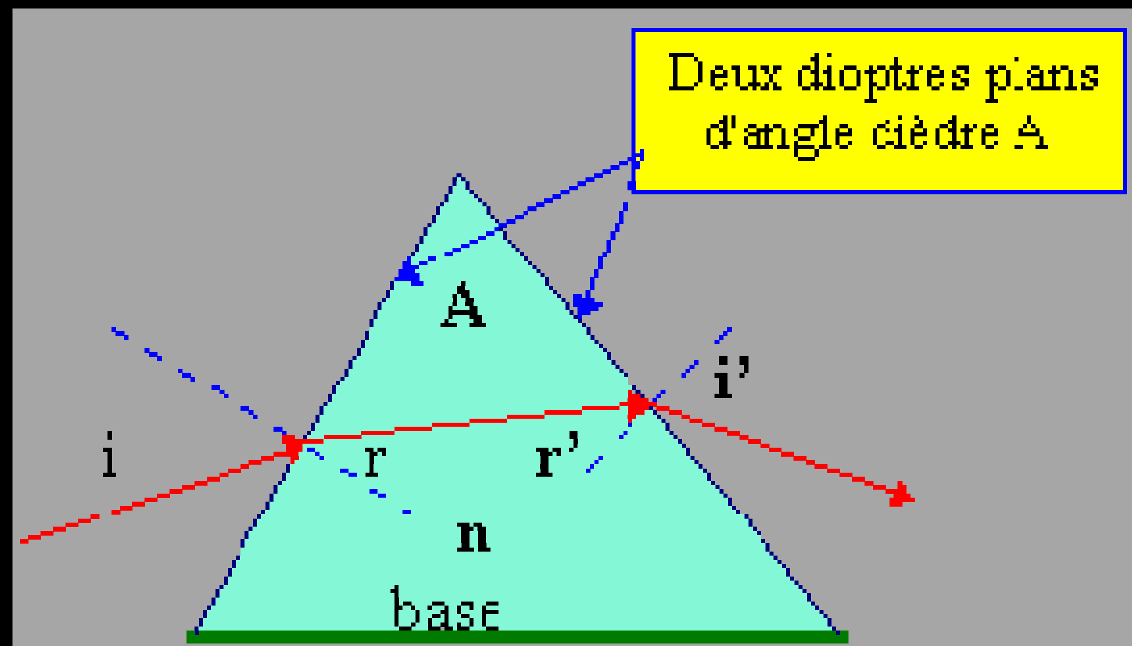

A'
A
A''
I
H
I'
H'
R
e
n_1
n_2
n_1
$\Rightarrow \overline{AA''} = e.\left(1 - \frac{1}{n_2}\right)$
Conditions de Gauss
Cas où $n_1=1$ et $n_2=n$

Le prisme

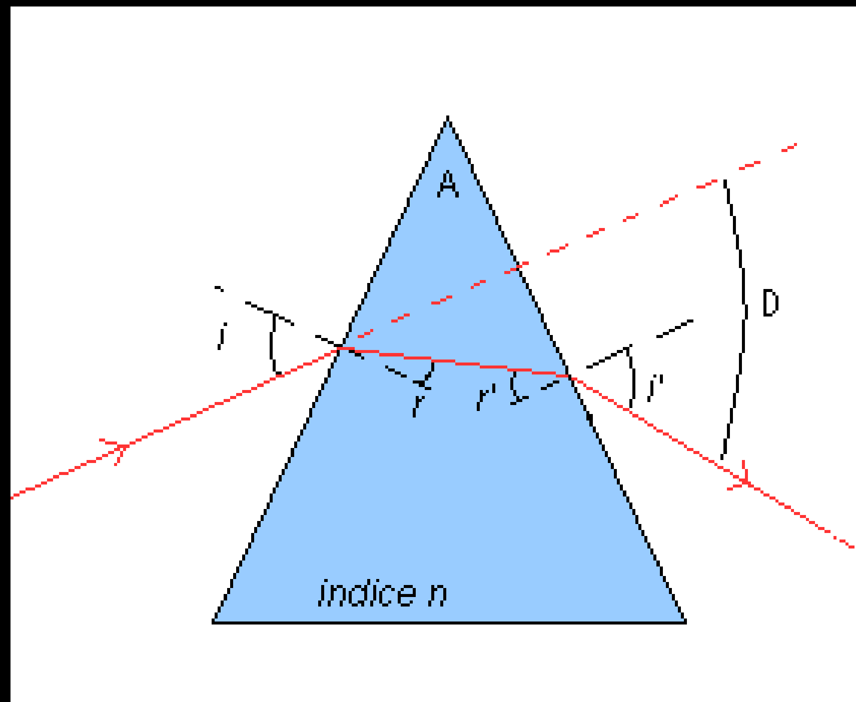
Définition : le prisme est un milieu réfringent limité par deux faces planes non parallèles.

Quand ces deux faces se coupent réellement, la droite d'intersection est l'arrête du prisme, la face opposée à l'arête est la base. L'angle du prisme est défini par les deux faces non parallèles

L'interposition d'un prisme sur le trajet d'un faisceau monochromatique cylindrique provoque **seulement une déviation**, le faisceau reste cylindrique après la traversée de chacun des surfaces.



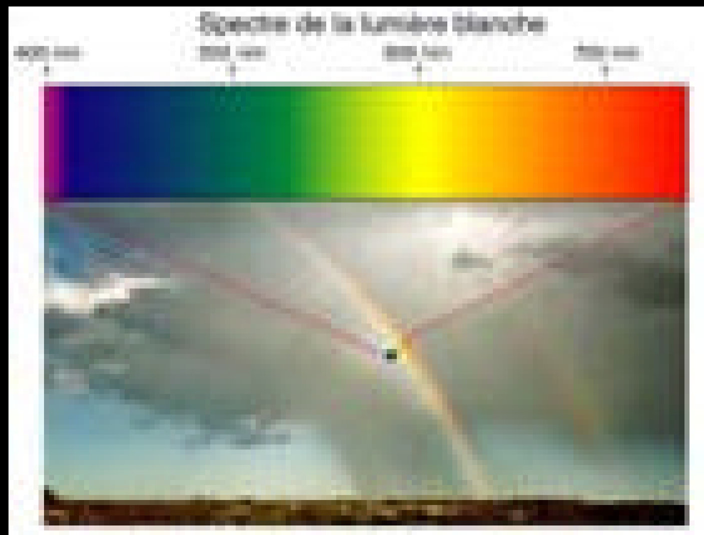
Déterminer la marche d'un rayon lumineux à travers un prisme, revient à déterminer les relations mathématiques qui lient les paramètres : **A**, **n**, **i**, **r**, **r'** et **i'**.

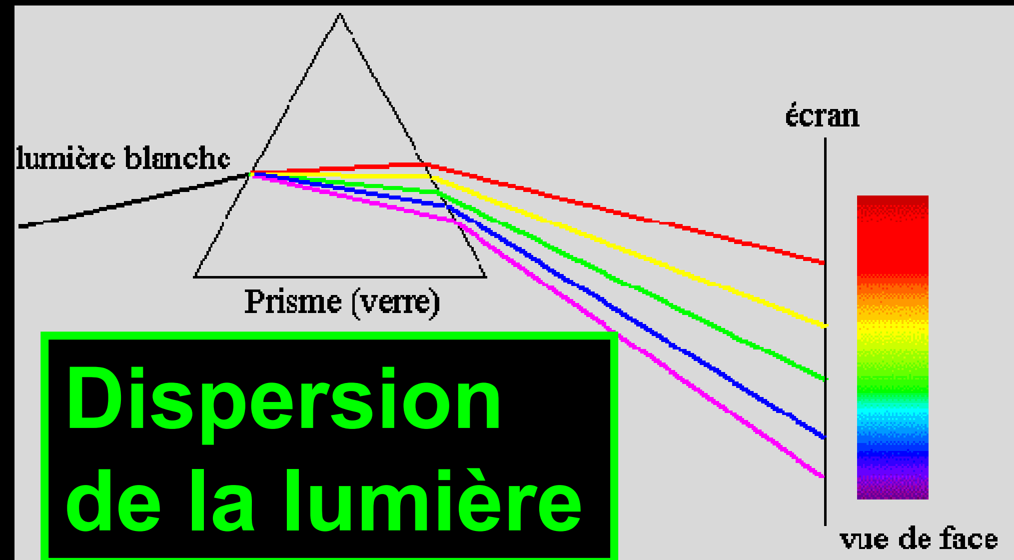


Les formules du prisme :

1. $\sin i = n . \sin r$
2. $\sin i' = n . \sin r'$
3. $A = r + r'$
4. $D = i + i' - A$

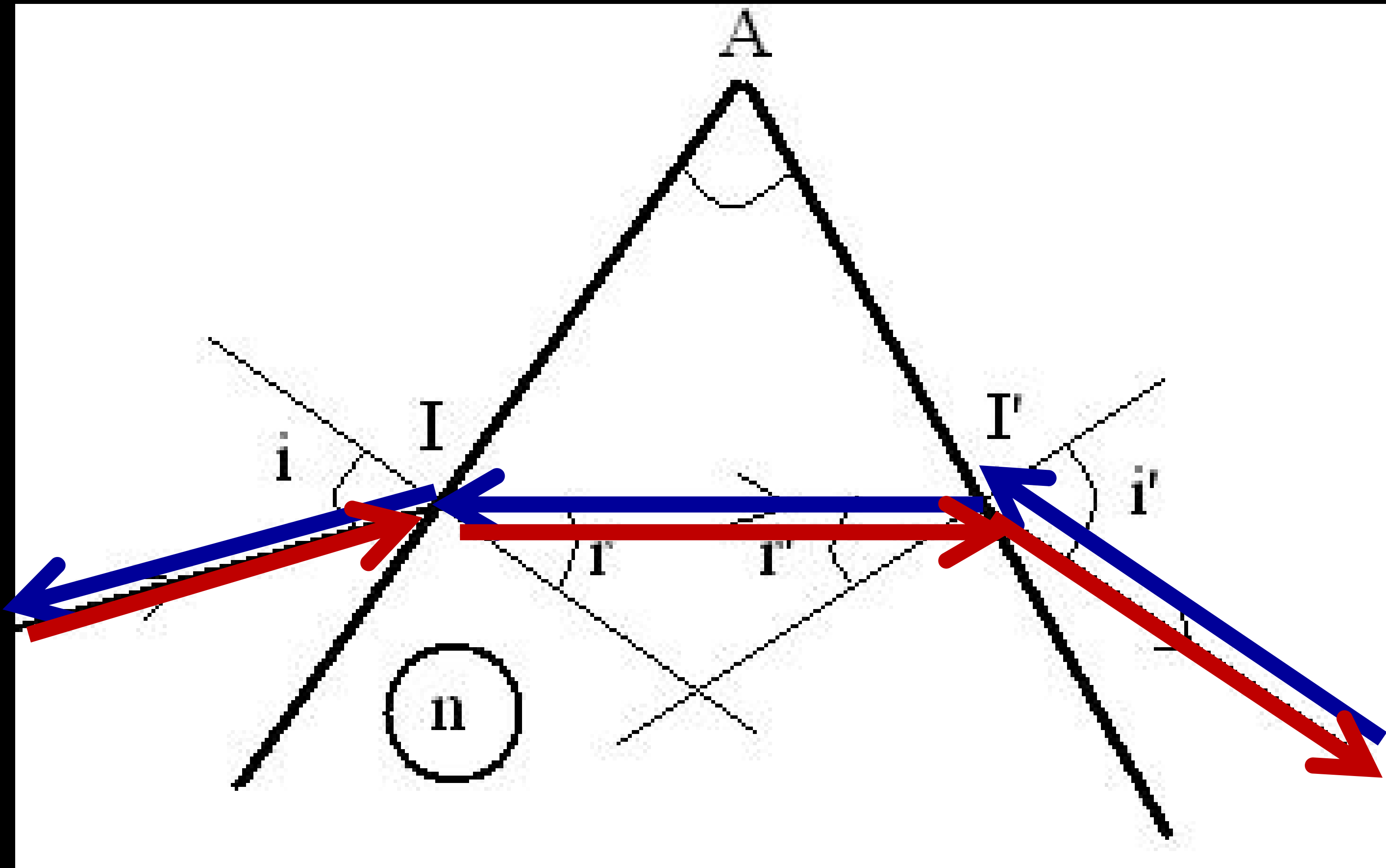
Si l'on opère avec de <u>**la lumière blanche**</u>, le faisceau émergent n'est plus cylindrique, outre **la déviation**, il subit **une décomposition en faisceaux colorés** : le phénomène de la **dispersion** de la lumière complexe en lumières simples.





Décomposition de la lumière blanche

Remarque : Principe du retour inverse de la lumière



Si les angles A et i **sont petits**, il en résulté que r, r' et i' sont également petits, et les **formules du prisme** s'écrivent comme suit :

Les formules du prisme :

$$i = n.r$$

$$i' = n.r'$$

$$A = r + r'$$

$$D = n.r + n.r' - A = (n-1).A$$

Dans le cas des petits angles, la déviation D est indépendante de l'angle d'incidence.

Exercice 8 : Etude d'un prisme **

Soit un prisme d'angle au sommet A et fabriqué dans un verre d'indice de réfraction n. Il est placé dans l'air d'indice n_0=1.

•Donner les relations liant i et r ; i' et r' ; r, r' et A.

•Définir graphiquement et exprimer la déviation D en fonction de i, i' et A dans le cas où le rayon émergent du prisme existe.

•Comment varie i' lorsque i croît ?

•*a*- Calculer la valeur de l'angle de réfraction limite au point I'.

b- En déduire qu'il existe une valeur A_M de A au-delà de laquelle il n'y aura aucun rayon émergent, quel que soit l'angle d'incidence i. Calculer A_M pour n=1,5.

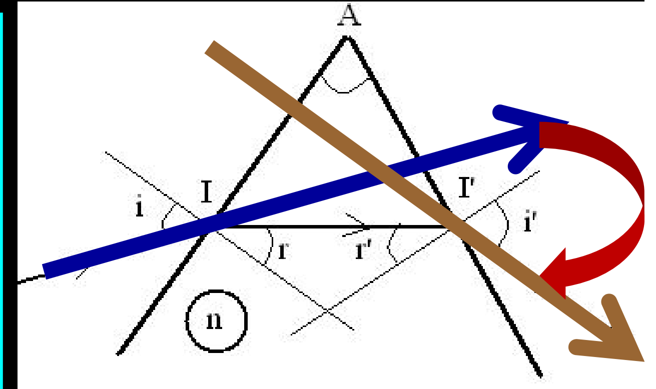
•On éclaire ce prisme par une lumière blanche.

a- Quel est le phénomène observé à la sortie du prisme.

b- Quelle est la radiation la plus déviée ? Quelle est la radiation la moins déviée ?

Les formules du prisme :

1. $\sin i = n.\sin r$
2. $\sin i' = n.\sin r'$
3. $A = r + r'$
4. $D = i + i' - A$



$i \nearrow \underbrace{\Rightarrow}_{\sin i = n \sin r} r \nearrow \underbrace{\Rightarrow}_{r + r' = A} r' \searrow \underbrace{\Rightarrow}_{\sin i' = n \sin r'} i' \searrow$

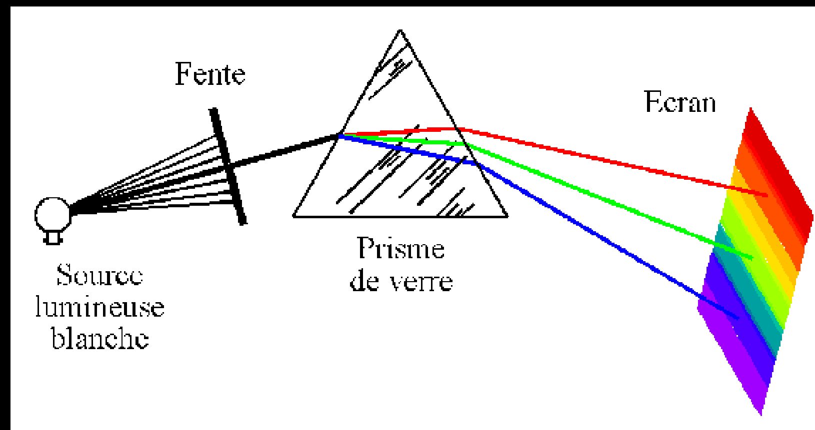
$$\sin \Lambda = \frac{1}{n} = \frac{2}{3} = 0,66 \Rightarrow \boxed{\Lambda = 41,81° \simeq 42°}$$

$$\underbrace{r + r'}_{r<\Lambda \quad r'<\Lambda} = A \Rightarrow A \leq 2.\Lambda \Rightarrow \boxed{A_{max} = 2.\Lambda}$$

Pour avoir une réfraction aux points I et I', il faut que $A \leq 2.\Lambda$. Si $A > 2.\Lambda$ alors on aura une réflexion totale sur la 2ème face du prisme.

Le phénomène observé est la **dispersion** de la lumière blanche par le prisme.

Dispersion de la lumière



Fin...



Surface sphérique : Miroir, dioptre et lentille

SVT session d'automne 2012

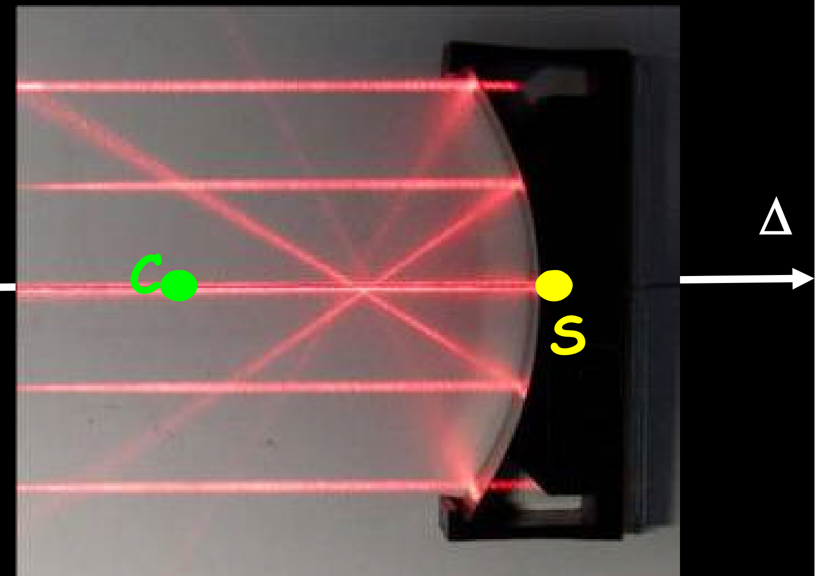
Pr Hamid TOUMA
Département de Physique
Faculté des Sciences de Rabat
Université Mohamed V

Les miroirs sphériques

Définition :

Un miroir sphérique est une portion de sphère réfléchissante, de centre C et de sommet S. **Le rayon** du miroir sphérique est défini par la mesure algébrique : $R = \overline{SC}$

CS est l'axe principal optique (Δ) de ce miroir sphérique. La surface réfléchissante s'obtient par un dépôt métallique.



Il est à noter que l'origine de l'axe optique Δ peut être fixée arbitrairement en C ou en S.

Miroirs convexes

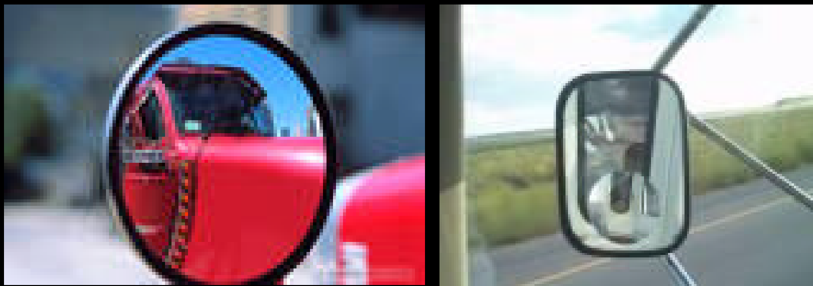


Miroirs de surveillance

Miroir de sortie d'usine



rétroviseurs de camion

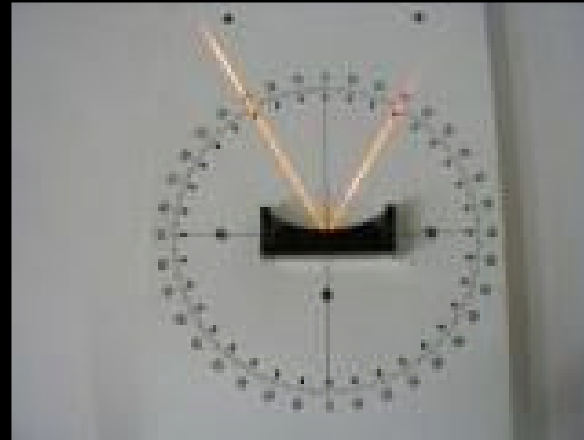


Exemples :

Miroir plan

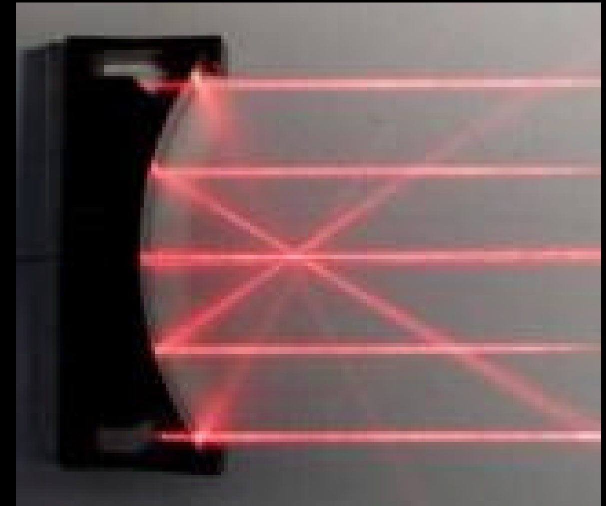


Miroir concave



Un miroir sphérique peut être **concave** ou **convexe** .

Un miroir sphérique est **concave** si sa **<u>surface réfléchissante</u>** est du **<u>même</u>** côté que le **centre** **C** de la sphère.



Surface réfléchissante

Axe optique

Sens de propagation de la Lumière

C R

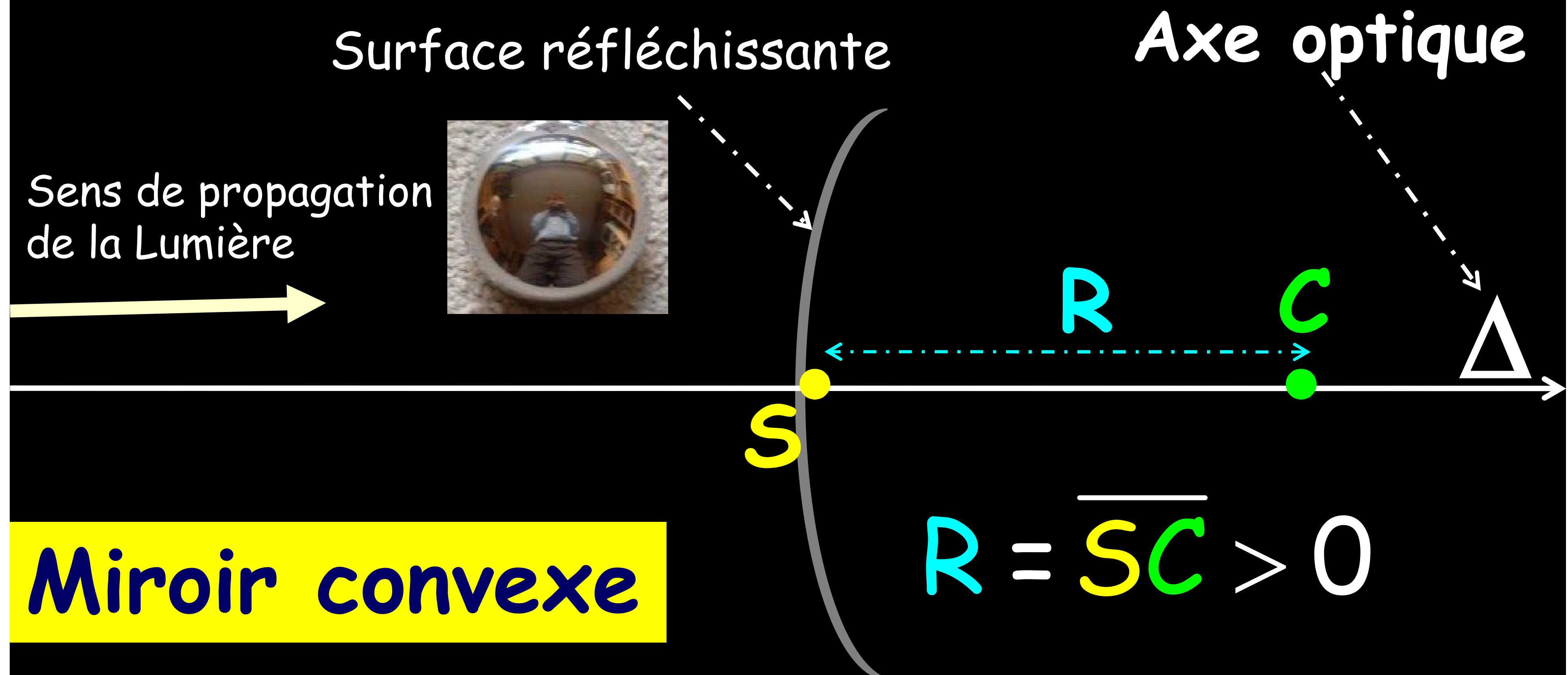
Δ

S

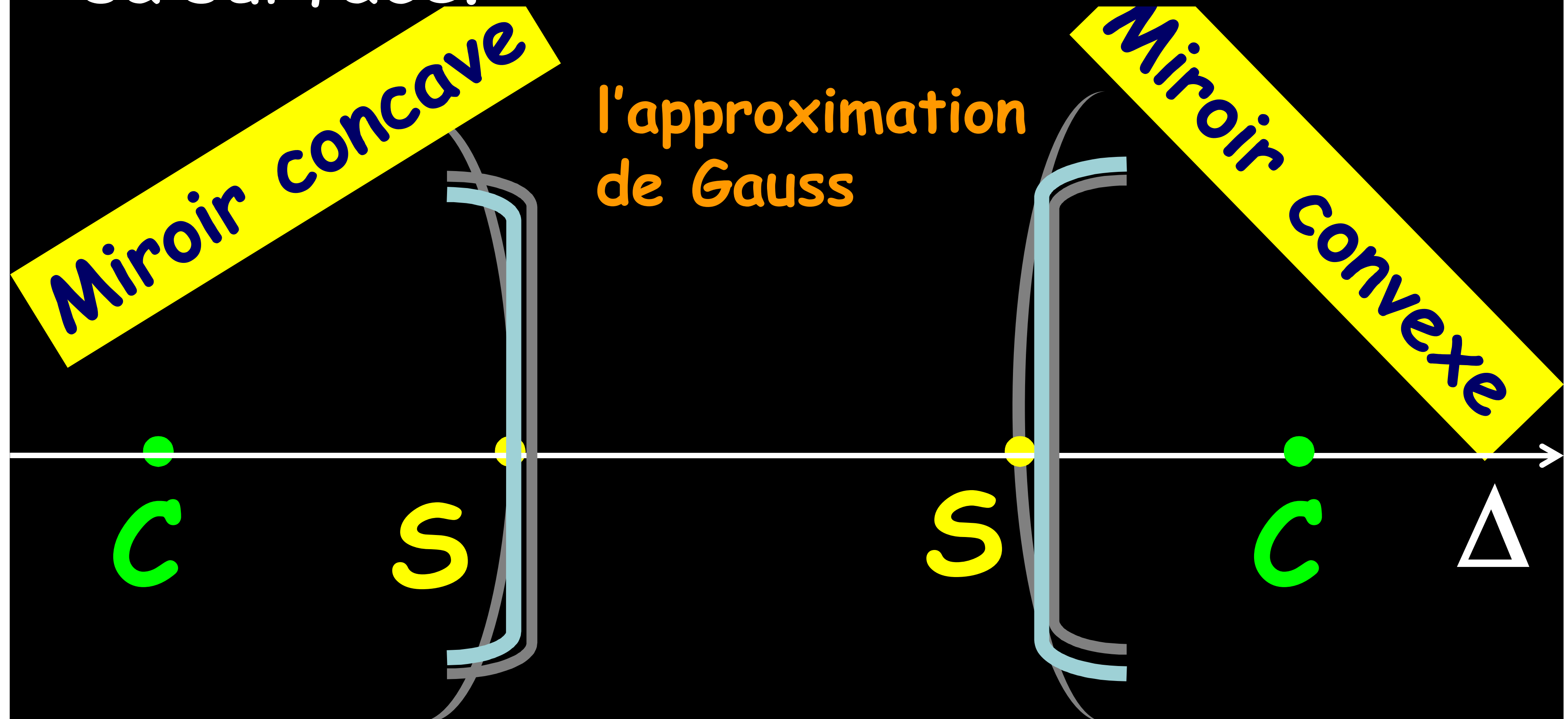
Miroir concave

$$R = \overline{SC} < 0$$

Un miroir sphérique est **convexe** si sa **surface réfléchissante** n'est pas du même côté que le **centre C** de la sphère.



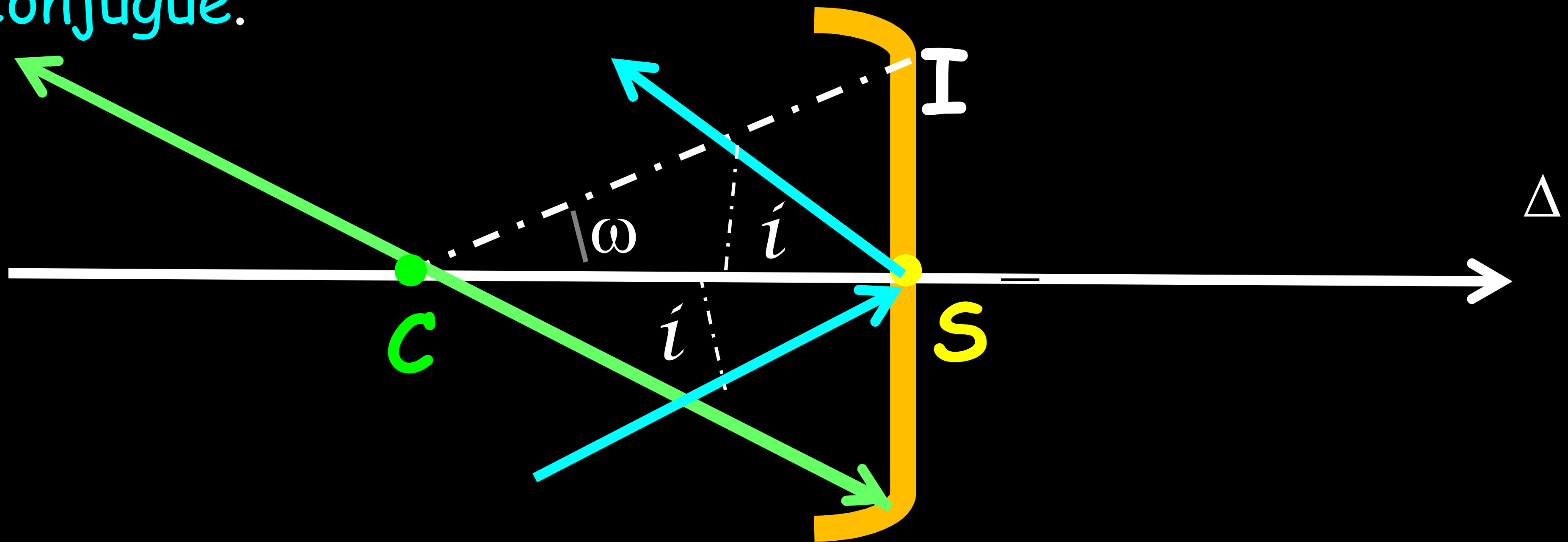
Par convention, dans **l'approximation de Gauss**, un **miroir sphérique** de **sommet** **S** et de **centre** **C** est représenté par le **plan tangent** en **S** à sa surface.



Propriétés du miroir sphérique

Les points cardinaux

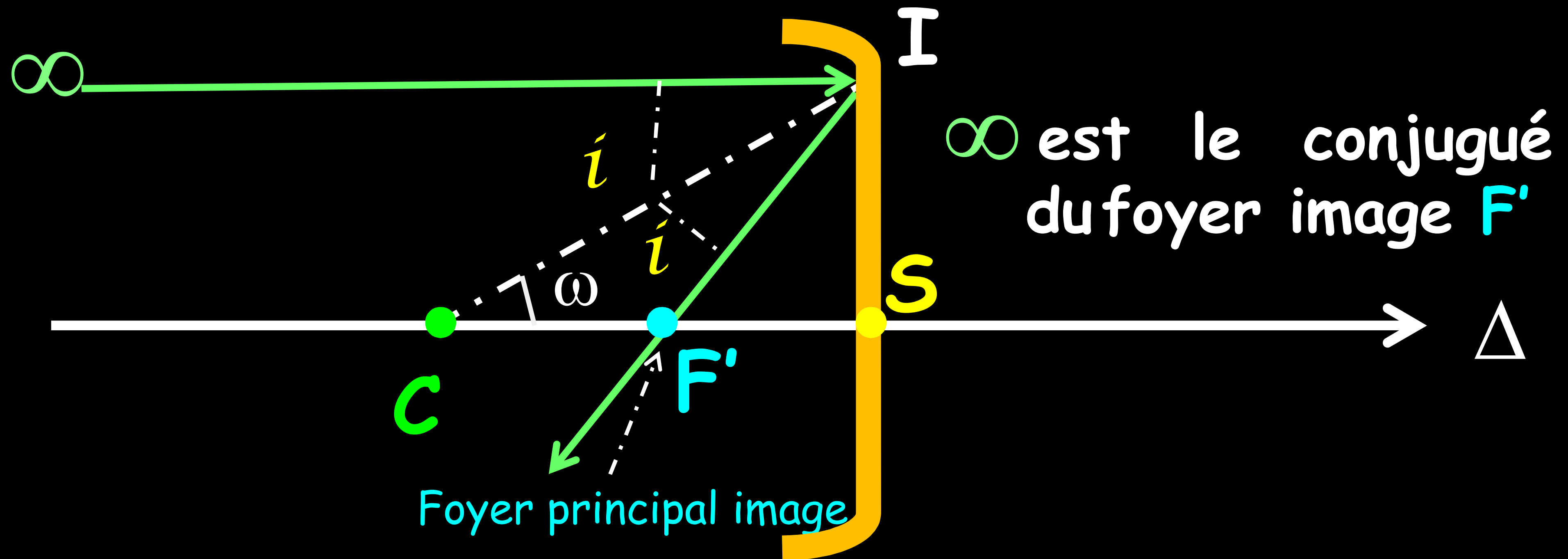
Tout rayon lumineux passant par le centre C d'un miroir sphérique, subit une réflexion sur ce miroir en repassant par le point C. Le point C est son propre conjugué.



Tout rayon lumineux passant par le sommet S d'un miroir sphérique, subit d'une façon symétrique une réflexion sur ce miroir en repassant par le sommet S.

Le point S est son propre conjugué.

Loi de Snell-Descartes pour la réflexion



Un point objet à l'infini sur l'axe principal envoie un rayon lumineux incident **parallèle** à cet **axe optique principal** Δ. Ce rayon lumineux rencontre le miroir en **I**. la normale de ce miroir au point **I** est son rayon **CI**. On constate que $i = \omega$ (angles alternes internes).

Dans l'approximation de Gauss, ω est **petit** et **cos** ω ~ 1. Par suite nous aurons :

$$\overline{CF'} = -\frac{\overline{SC}}{2}$$

Le foyer image F' est à la moitié du rayon du miroir sphérique

Le **principe du retour inverse** de la lumière montre qu'un rayon lumineux issu de **F'** se réfléchi sur le **miroir sphérique** en sortant parallèlement à son axe principal.

Le foyer image F ' est **et** le **foyer objet F sont** confondus avec le **milieu du segment CS** du **miroir sphérique**.

$$\overline{CF'} = \overline{CF} = -\frac{\overline{SC}}{2}$$

Foyer image F' :

objet A à l'infini image A' au foyer

$$f' = \overline{SF'} = \frac{\overline{SC}}{2}$$

f' : distance focale image

F' : foyer principal image

Foyer objet F :

objet A au foyer image A' à l'infini

$$f = \overline{SF} = \frac{\overline{SC}}{2}$$

f : distance focale objet

F : foyer principal objet

Vergence d'un miroir sphérique :

La vergence d'un **miroir sphérique** de sommet S et de centre C est définie comme l'inverse de sa **distance focale**. C'est une expression algébrique. **L'unité** de la **vergence** est donc le mètre^{-1}, m^{-1}, appelé dioptrie et notée δ.

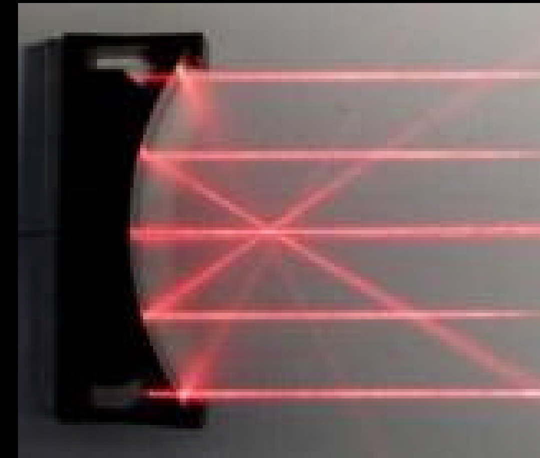
$$V = \frac{1}{f'} = \frac{1}{\overline{SF'}} = \frac{2}{\overline{SC}} = \frac{1}{f} = \frac{1}{\overline{SF}}$$

Indice de réfraction de l'air

Miroir concave est convergent avec une vergence négative, ses foyers sont réels.

$$V = \frac{1}{\overline{\overline{SF'}}} < 0$$

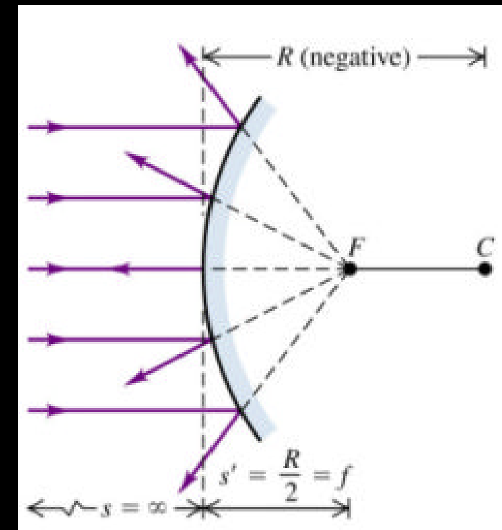
Foyers réels



•Miroir convexe est divergent avec une vergence positive, ses foyers sont virtuels.

$$V = \frac{1}{\overline{\overline{SF'}}} > 0$$

Foyers imaginaires



Il est à noter que ces formules sont des relations entre les positions et les dimensions de l'objet AB et de son image A'B'.

Elles sont établies et valables dans les conditions de l'approximation de Gauss.

Pour obtenir la relation de conjugaison, il suffit de considérer les points situés sur l'axe principal optique Δ du miroir.

Il est à souligner qu'il y a 3 expressions de la **relation de conjugaison**, reliant les abscisses du point **objet** **A** et de son **point image** **A'**, en utilisant trois origines différentes à savoir :

1. **le sommet S,**
2. **le centre C ,**
3. **le foyer objet F**

du miroir sphérique M.

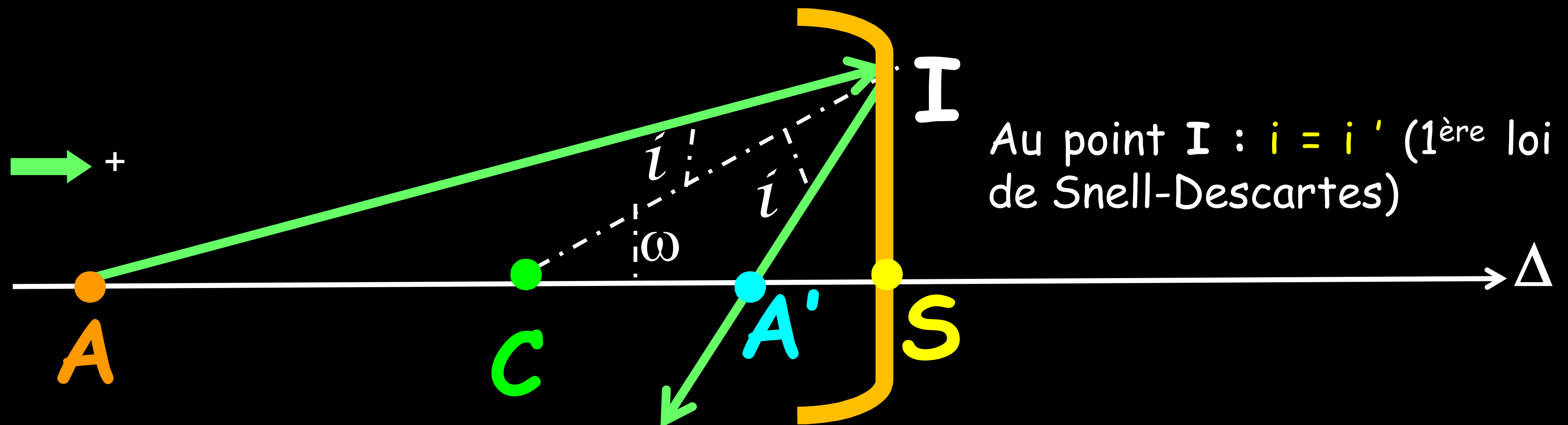
Relation de conjugaison :

Origine au sommet S :

Image + Objet = Instrument optique

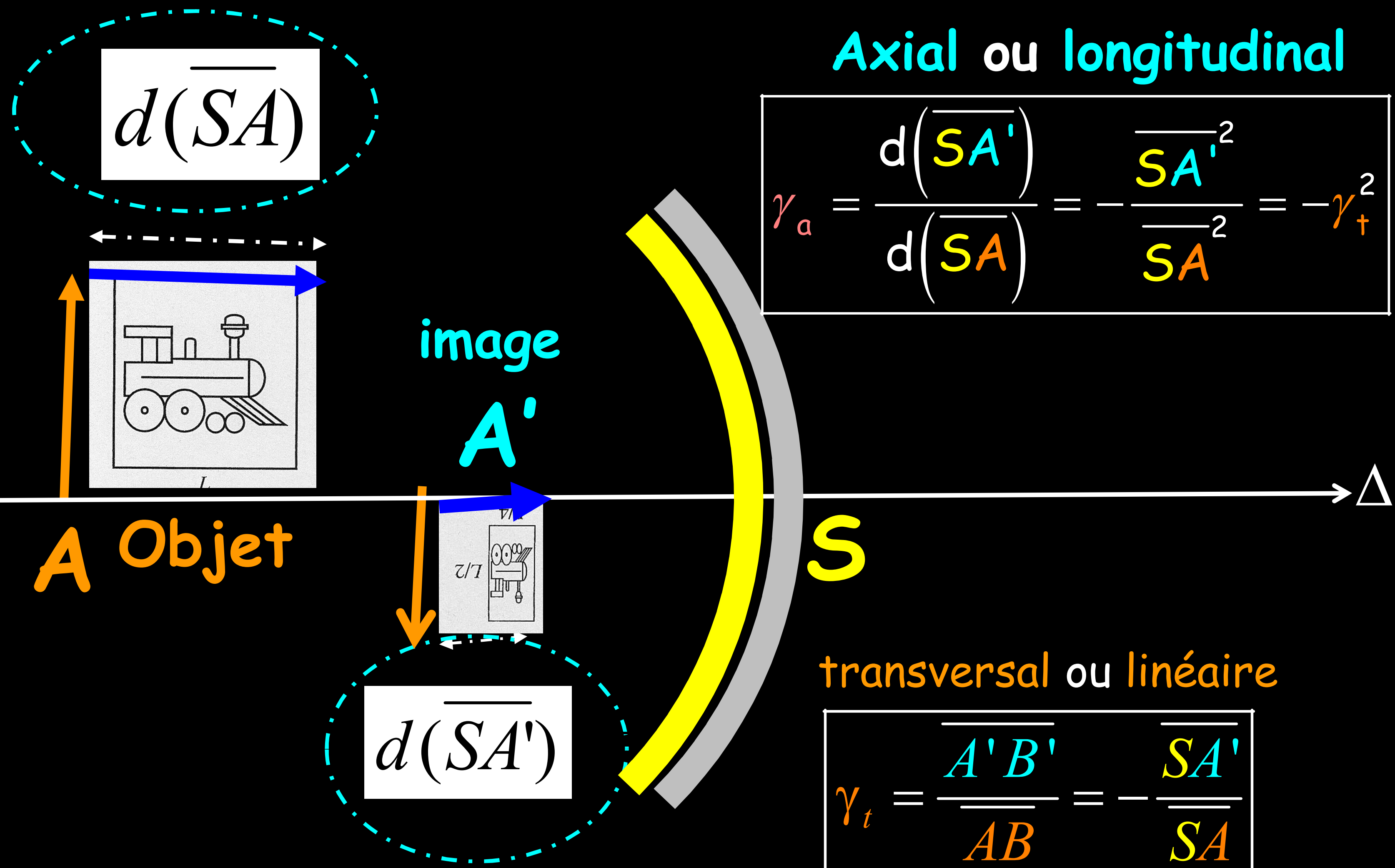
$$\frac{1}{\overline{SA'}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{2}{\overline{SC}} = \frac{1}{\overline{SF'}}$$

origine de l'axe optique Δ est fixée au sommet S.



On appelle grandissement linéaire d'un miroir sphérique pour une position de l'objet AB, le rapport entre une dimension linéaire de l'image A'B' et celle de de l'objet AB.

$$\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$

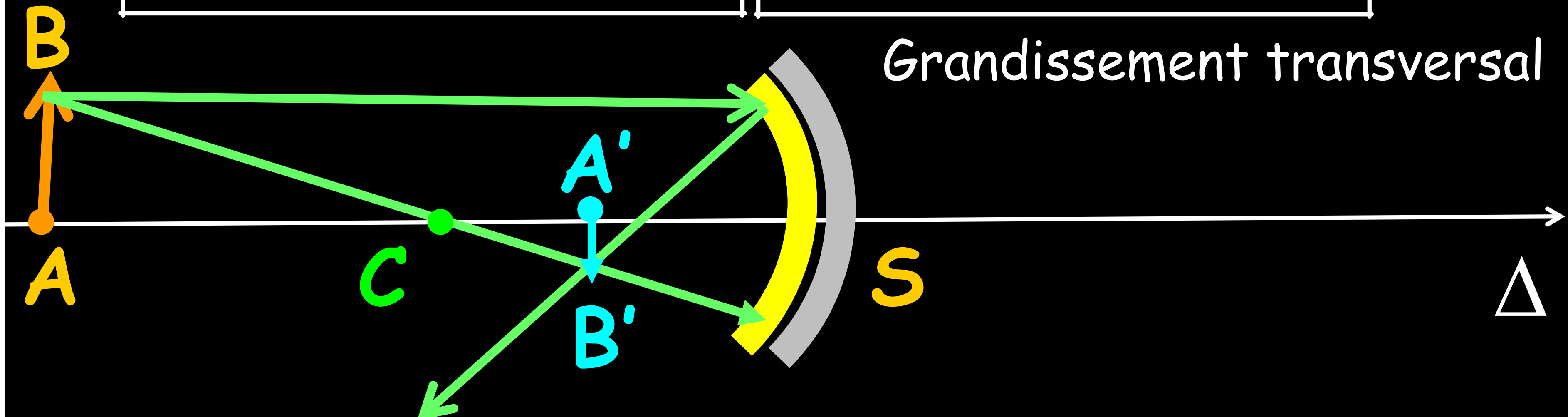

• Grandissement longitudinal
$\gamma_{axial} = \frac{d(\overline{SA'})}{d(\overline{SA})}$
Axial ou longitudinal
$\gamma_a = \frac{d(\overline{SA'})}{d(\overline{SA})} = -\frac{\overline{SA'}^2}{\overline{SA}^2} = -\gamma_t^2$
$d(\overline{SA})$
image
A'
A
Objet
S
Δ
$d(\overline{SA'})$
transversal ou linéaire
$\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$

Origine au centre C :

Les positions de AB et de son image A'B' sont liées par la relation définie comme suit :

$$\frac{1}{\overline{CA'}} + \frac{1}{\overline{CA}} = \frac{2}{\overline{CS}}$$

$$\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{CA'}}{\overline{CA}}$$



Origines aux foyers. Formules de Newton

En prenant pour **origine le foyer** F, les quatre points F, S, A et A' sont liés par les relations suivantes :

$$\overline{F'A'}.\overline{FA} = \overline{F'S}.\overline{FS} = \overline{FA'}.\overline{FA} = \overline{FS}^2$$

$$\gamma_{transversal} = -\frac{\overline{FA'}}{\overline{SF}} = -\frac{\overline{SF}}{\overline{FA}}$$

Grandissement transversal

Les formules de Newton

construction d' image

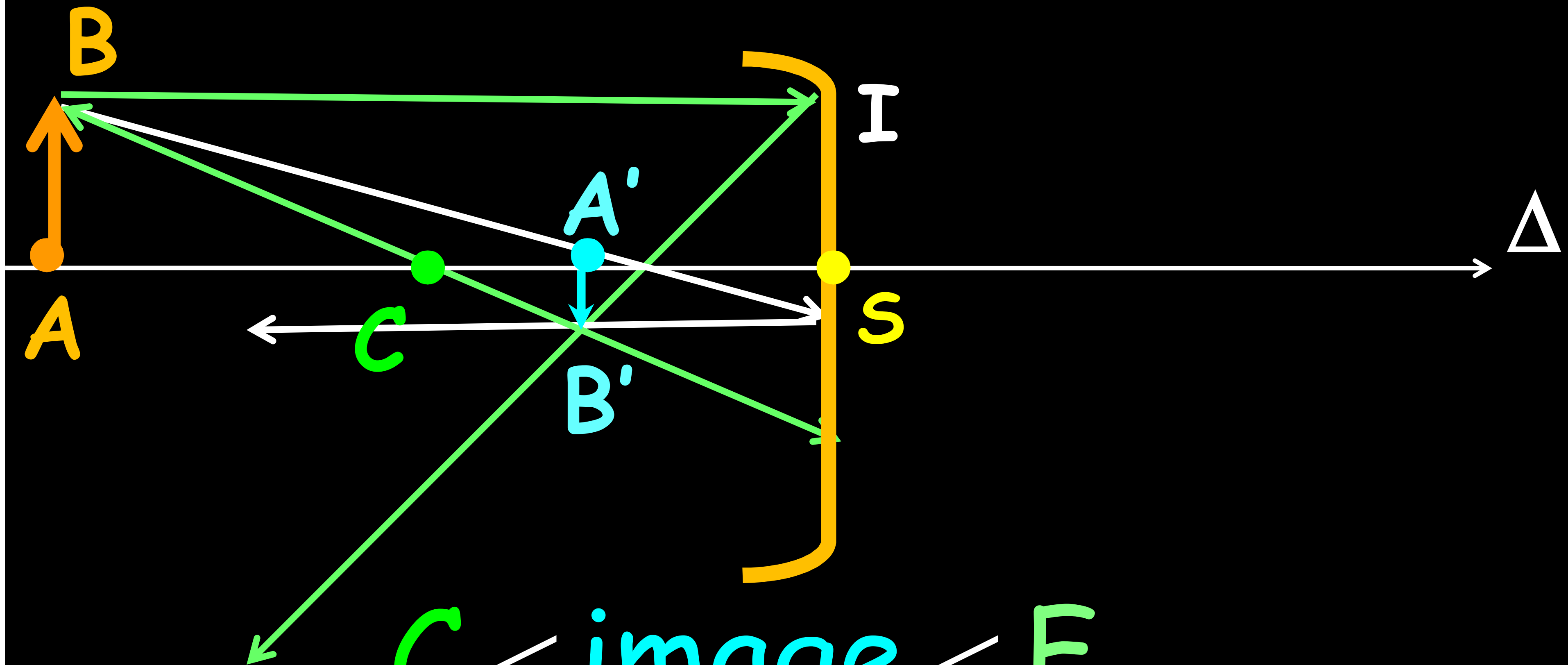
utilisation au moins de 2 sur 3 rayons particuliers

- tout rayon passant par le centre du dioptre n'est pas dévié
- tout rayon passant par F ressort // à l'axe optique Δ
- tout rayon // à l'axe optique Δ passe par F'

Objet réel

Cas n°1

$-\infty < \text{objet} < C$



$C < \text{image} < F$

Image réelle renversée

Objet réel

Cas n°2

objet = C = image

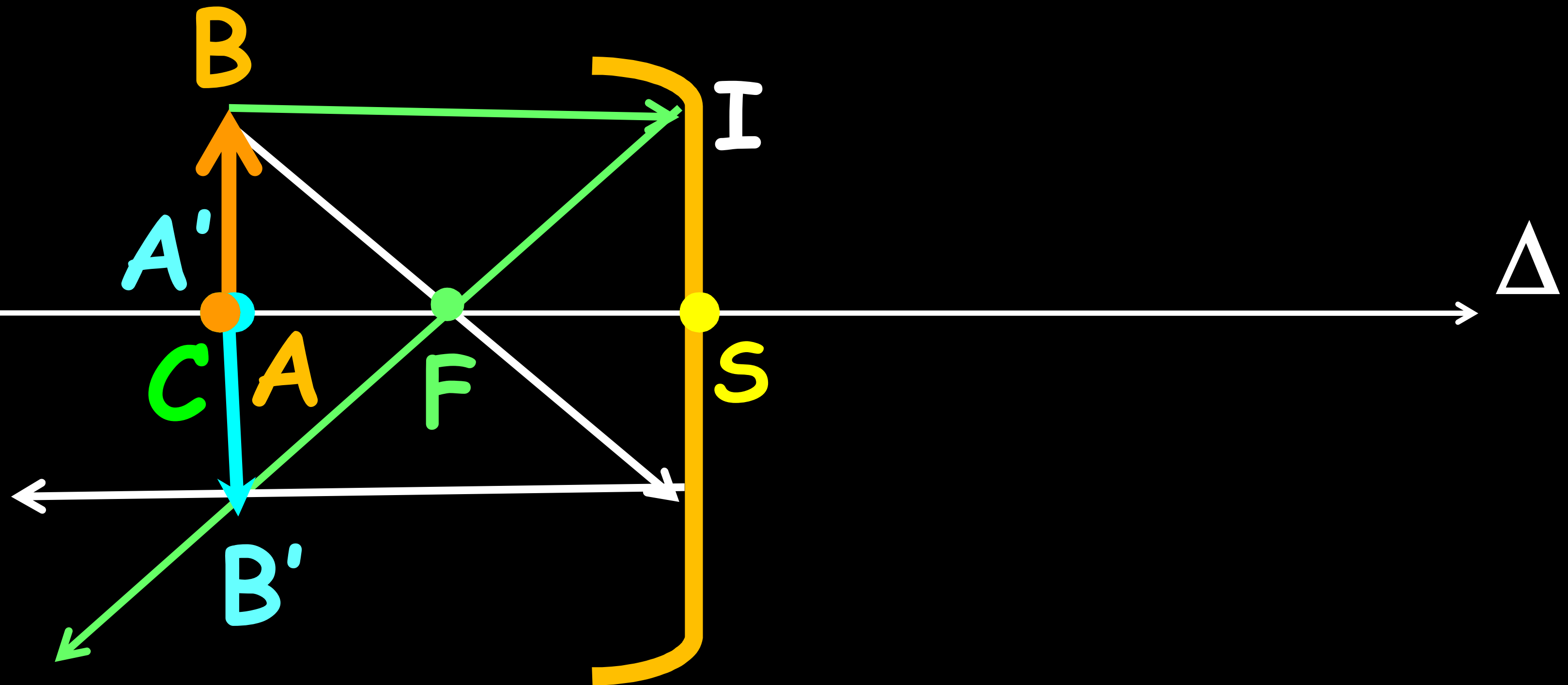
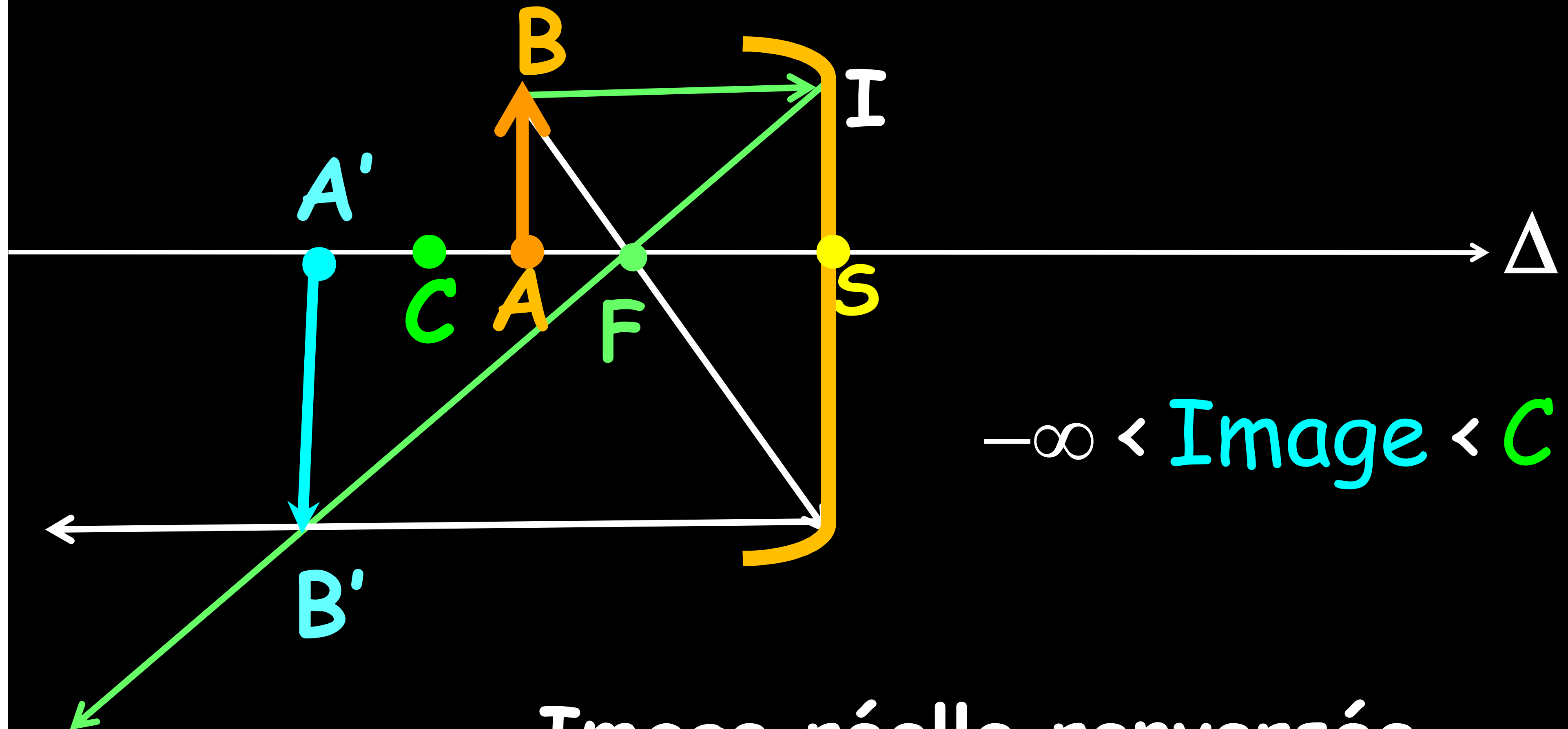
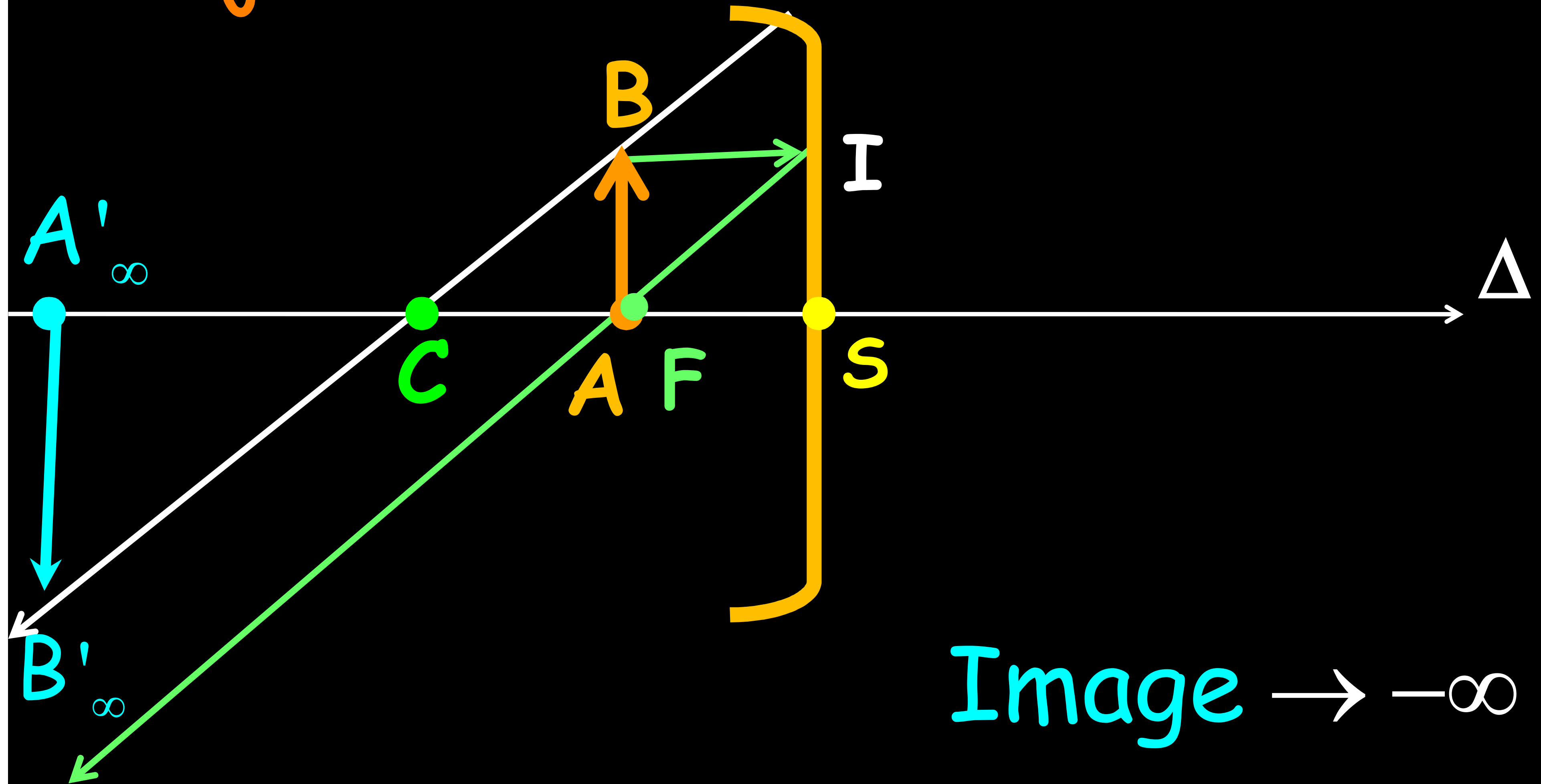
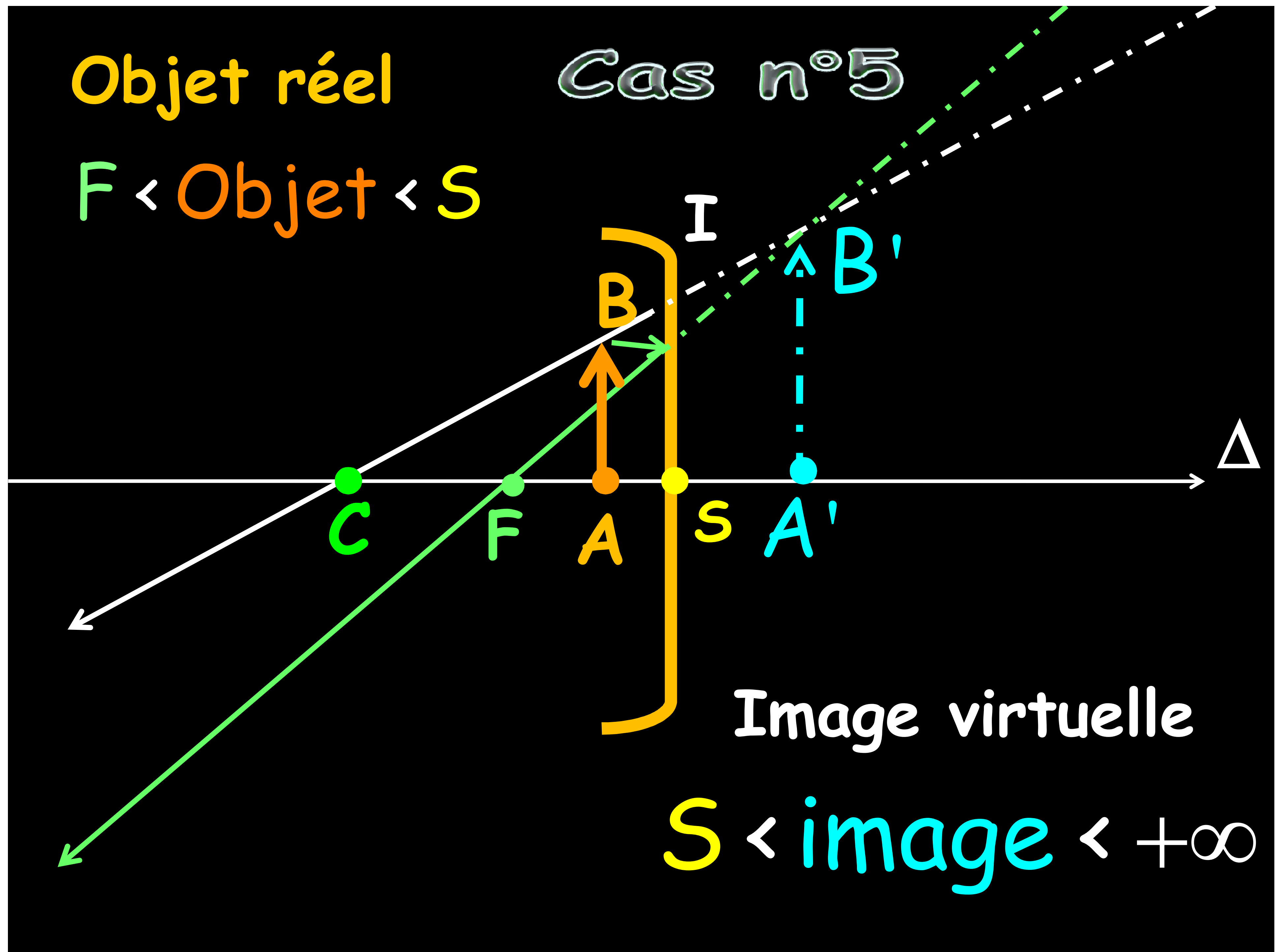
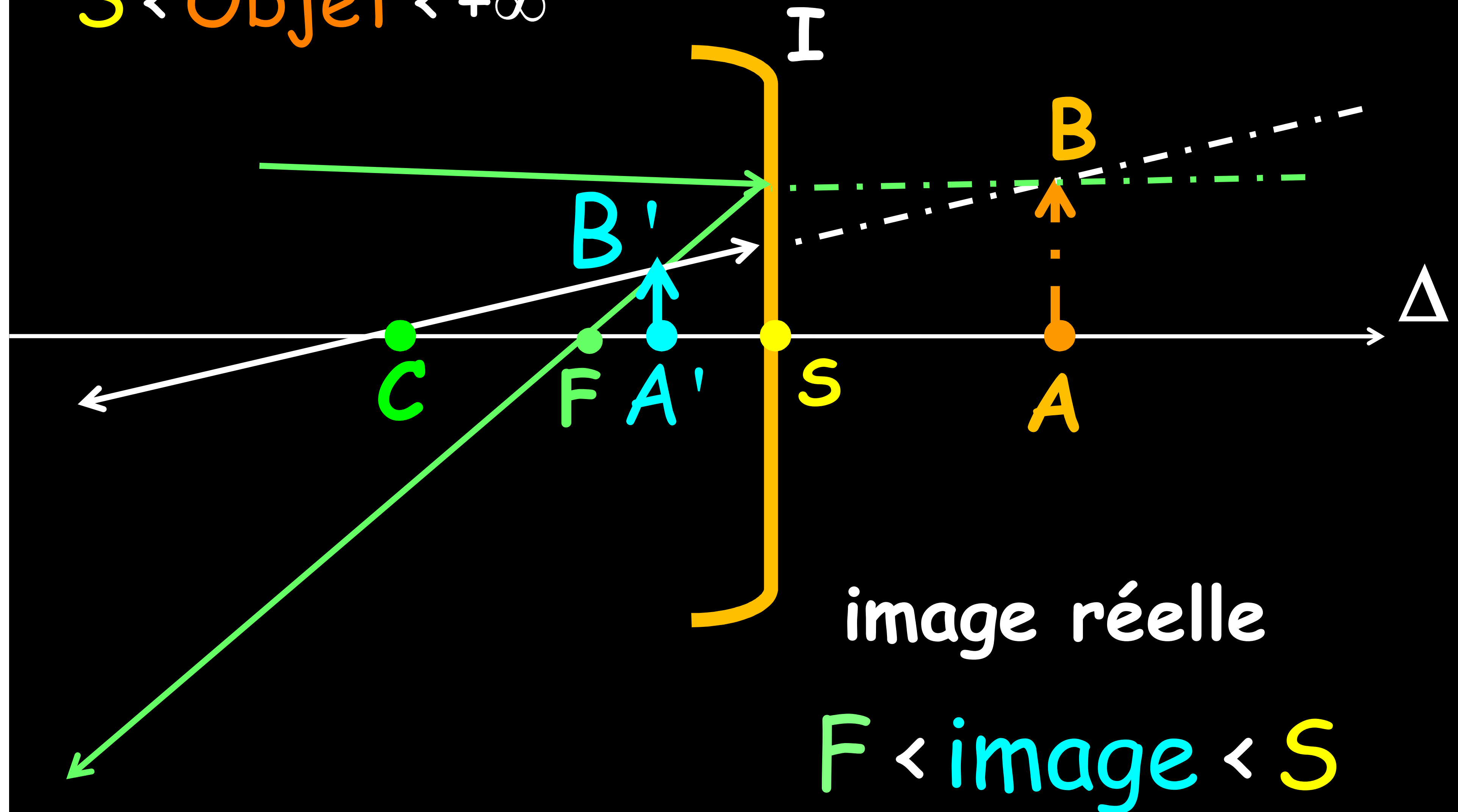


Image réelle renversée


Objet réel
C < Objet < F
Cas n°3
B
I
A'
C
A
F
S
Δ
−∞ < Image < C
B'
Image réelle renversée


Objet réel
Cas n°4
Objet = F
B
I
A'∞
Δ
C
A F
S
B'∞
Image → −∞


Objet réel
Cas n°5
F < Objet < S
I
B
B'
Δ
C
F
A
S
A'
Image virtuelle
S < image < +∞

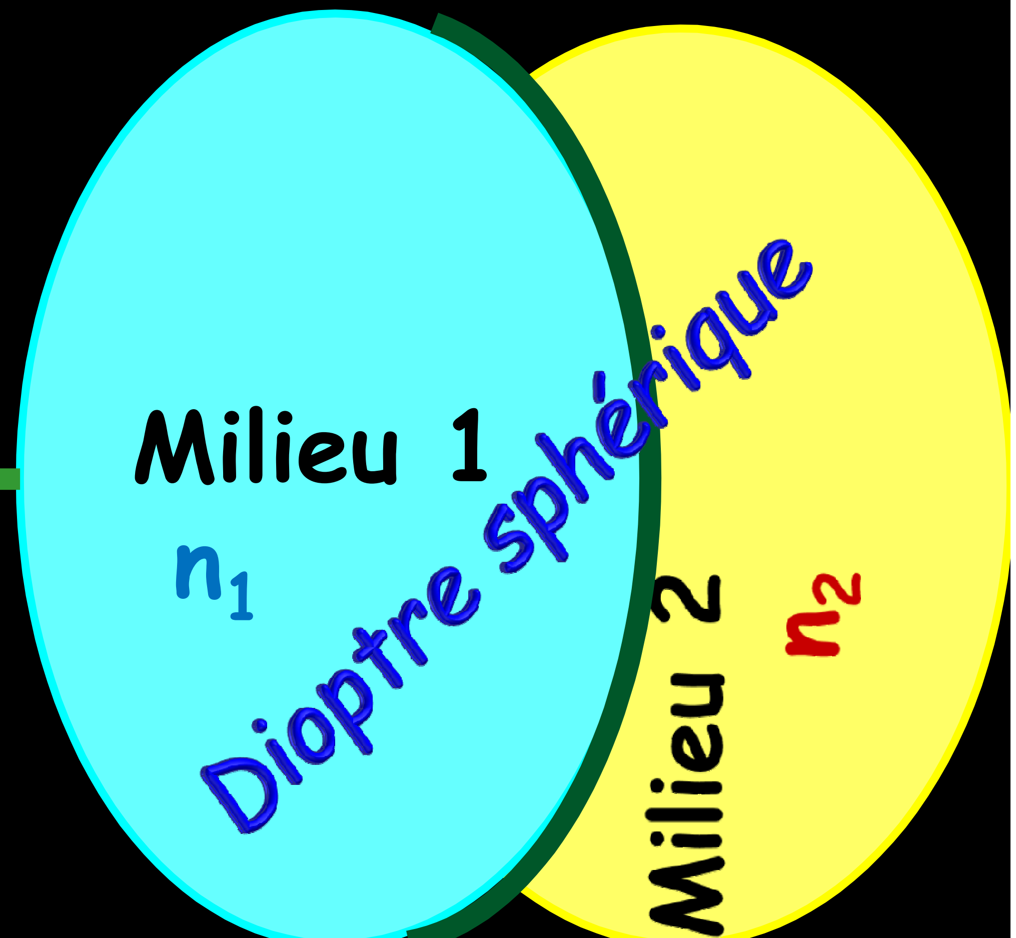

objet virtuel
Cas n°6
S < Objet < +∞
I
B
B'
Δ
C
F
A'
S
A
image réelle
F < image < S

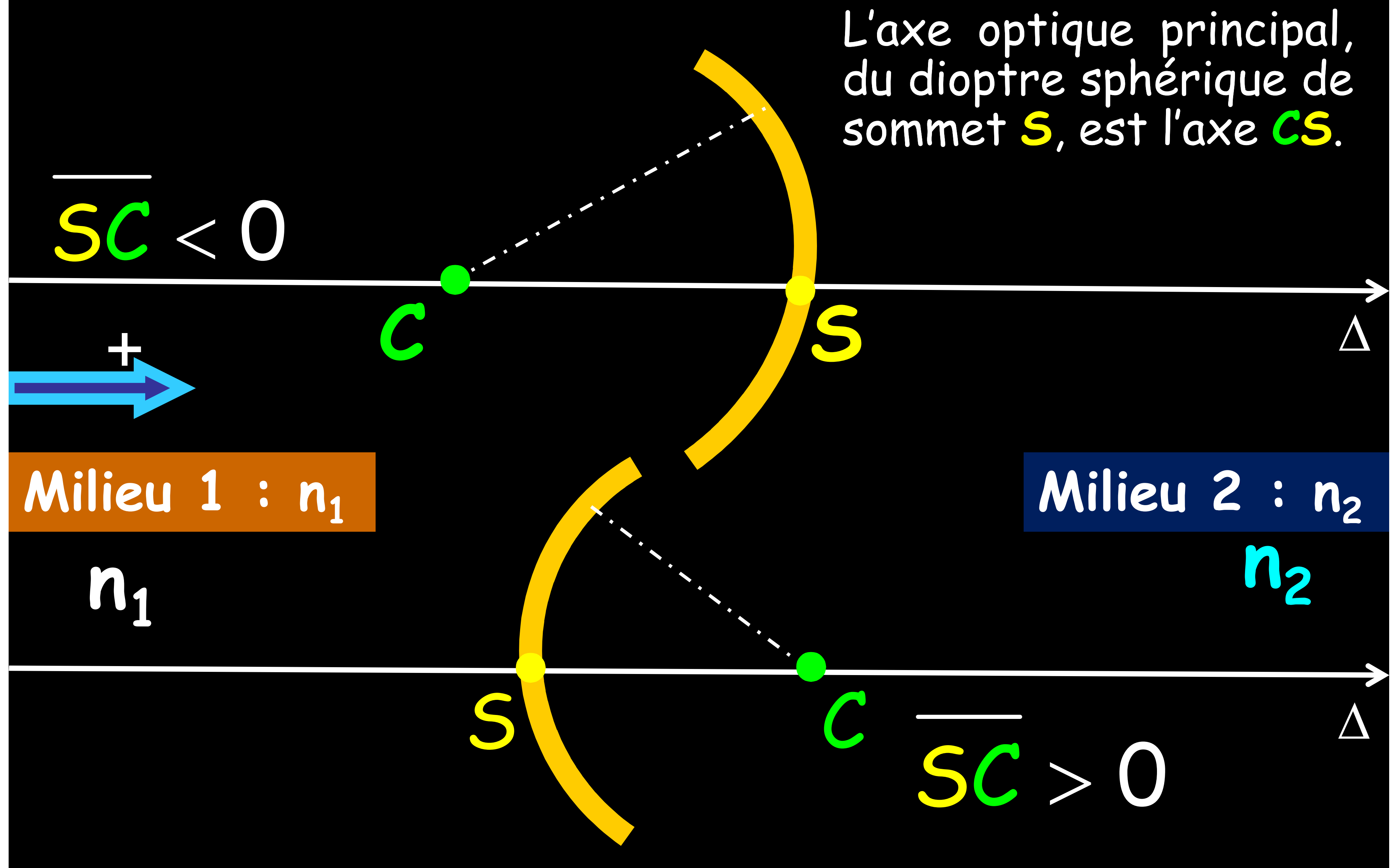
Définition : **Un dioptre sphérique** est un ensemble de <u>deux milieux homogènes</u> d'indices de réfraction différents n_1 et n_2, séparés par une **surface sphérique**.

Milieu 1 d'indice de réfraction n_1

Dioptre plan

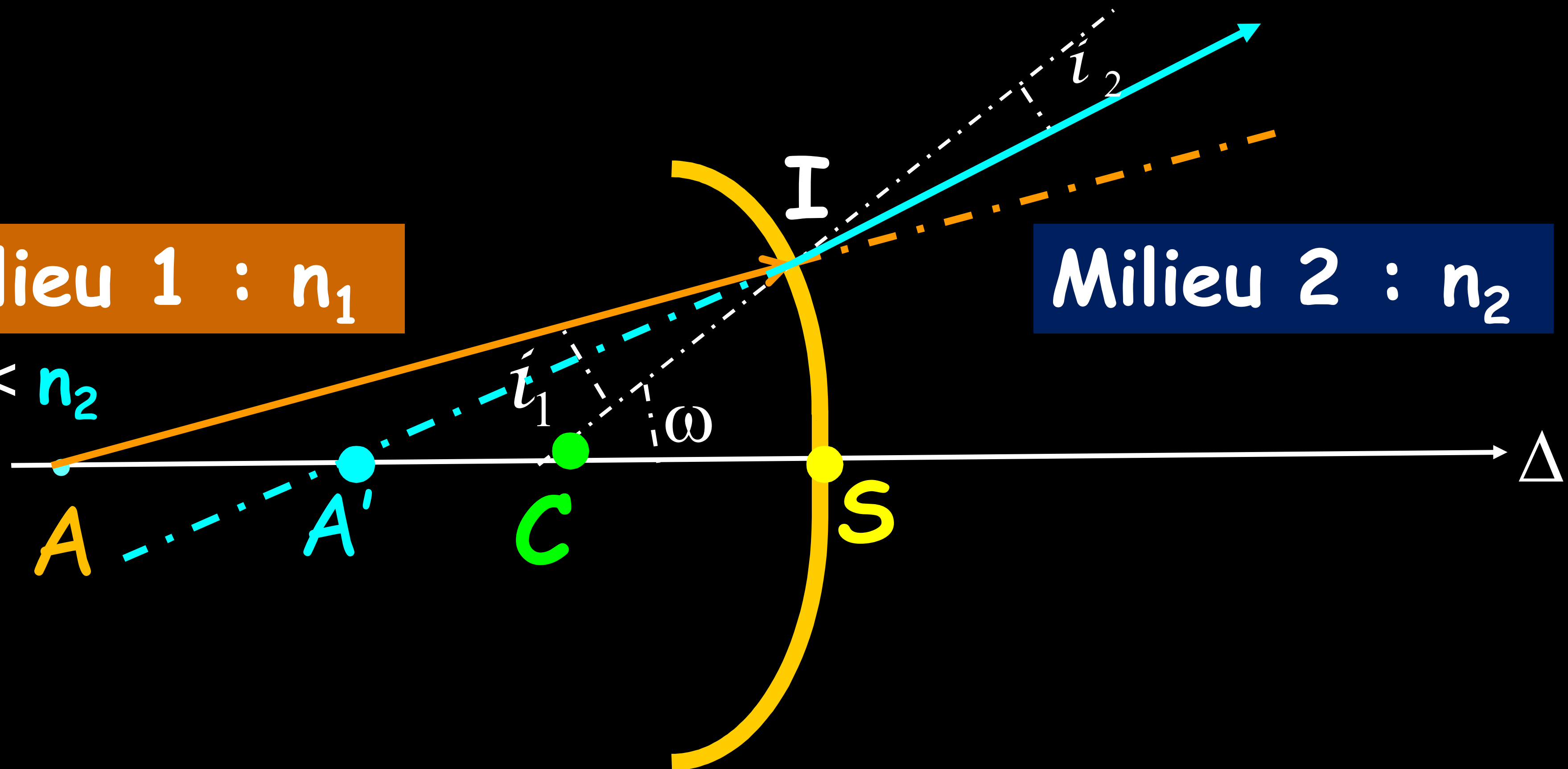
Milieu 2 d'indice de réfraction n_2




4 configurations possibles : $n_1 > n_2$ ou $n_1 < n_2$
L'axe optique principal, du dioptre sphérique de sommet S, est l'axe CS.
$\overline{SC} < 0$
C
S
Δ
+
Milieu 1 : n_1
Milieu 2 : n_2
n_1
n_2
S
C
Δ
$\overline{SC} > 0$

Relations de conjugaison

Établissons ces équations dans les conditions de l'approximation de Gauss. Autrement dit on ne considère qu'un pinceau lumineux dont le rayon moyen lui est normal, c'est-à-dire formé de rayons paraxiaux.


Milieu 1 : n1
n1 < n2
Milieu 2 : n2
I
i1
i2
ω
A
A'
C
S
Δ

Origine au **sommet S** :

Image **Objet** = **Instrument optique**

$$\frac{n_2}{\overline{SA'}} - \frac{n_1}{\overline{SA}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$

Relation de conjugaison d'un dioptre sphérique (S, C, n_1, n_2). **Formule de Descartes**

Origine au **centre C**

Il peut être commode de prendre le **centre C** comme origine de l'axe Δ ; dans ce cas **la formule de conjugaison** d'un dioptre sphérique (**S**, **C**, n_1, n_2).

$$\frac{n_1}{\overline{CA'}} - \frac{n_2}{\overline{CA}} = \frac{(n_1 - n_2)}{\overline{CS}}$$

Origine au **aux foyers**

Il peut être commode de prendre les **foyers** comme origine de l'axe Δ ; dans ce cas **la formule de conjugaison** d'un dioptre sphérique (**S**, **C**, n_1, n_2).

$$\overline{F'A'}.\overline{FA} = \overline{SF'}.\overline{SF}$$

Formule de Newton

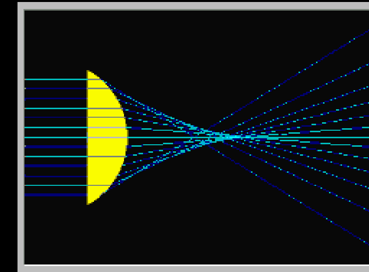
Foyers. Convergence

FOYERS, CONVERGENCE

Foyer image

Si le point objet A s'éloigne à l'infini, son conjugué est le **foyer image** F' du dioptre sphérique.

$$\frac{n_2}{\overline{SA'}} - \frac{n_1}{\overline{SA}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$



Si $A \rightarrow \infty$, alors $A' \rightarrow F'$, $-\left(\frac{n_2}{\overline{SF'}}\right) = \frac{(n_1 - n_2)}{R}$

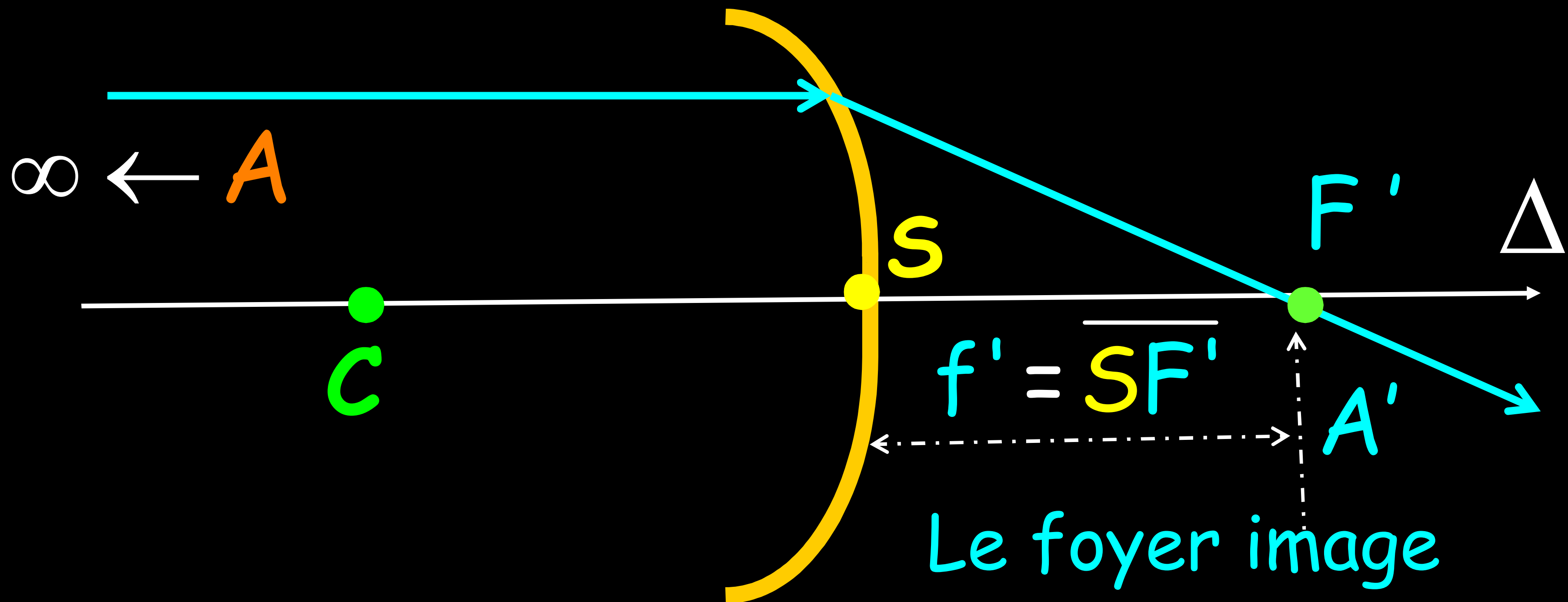
$$f' = \overline{SF'} = \frac{-R.n_2}{(n_1 - n_2)}$$

La distance focale image du dioptre sphérique (S, C, n_1, n_2).

$n_1 < n_2$

Milieu 1 : n_1

Milieu 2 : n_2



Le point source A, situé à l'infini, est conjugué avec le foyer image F '

Foyer objet :

Quand le point objet A est situé en F, l'image A' est à l'infini. Le point F est le foyer objet. la distance focal objet est alors :

$$\frac{n_2}{\overline{SA'}} - \frac{n_1}{\overline{SA}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$

Si $A \to F$, alors $A' \to \infty$, $\left(\frac{n_1}{\overline{SF}}\right) = \frac{(n_1 - n_2)}{R}$

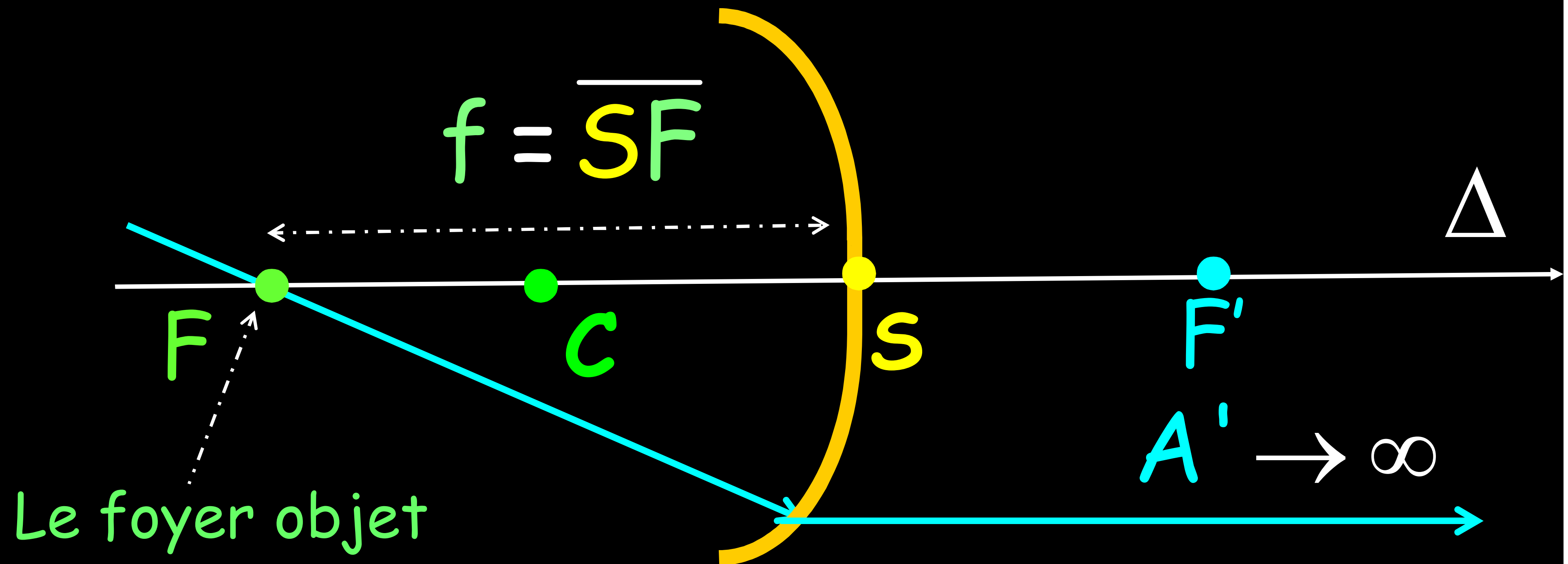
$$f = \overline{SF} = \frac{R.n_1}{(n_1 - n_2)}$$

La distance focale objet du dioptre sphérique (S, C, n_1, n_2).

$n_1 < n_2$

Milieu 1 : n_1

Milieu 2 : n_2



Le point source A, situé au foyer objet F, est <u>conjugué</u> avec son point image A' rejeté à l'infini.

$$f = \overline{SF} = \frac{R.n_1}{(n_1 - n_2)}$$

$$f' = \overline{SF'} = \frac{-R.n_2}{(n_1 - n_2)}$$

SF et **SF'** sont de signes opposés. **F** et **F'** même nature, les **2 sont réels** ou les **2 virtuels**. Chaque foyer se situe dans un milieu. **F** et **F'** sont toujours de part et d'autre de **S**.

$$\frac{\overline{SF'}}{\overline{SF}} = \frac{f'}{f} = -\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

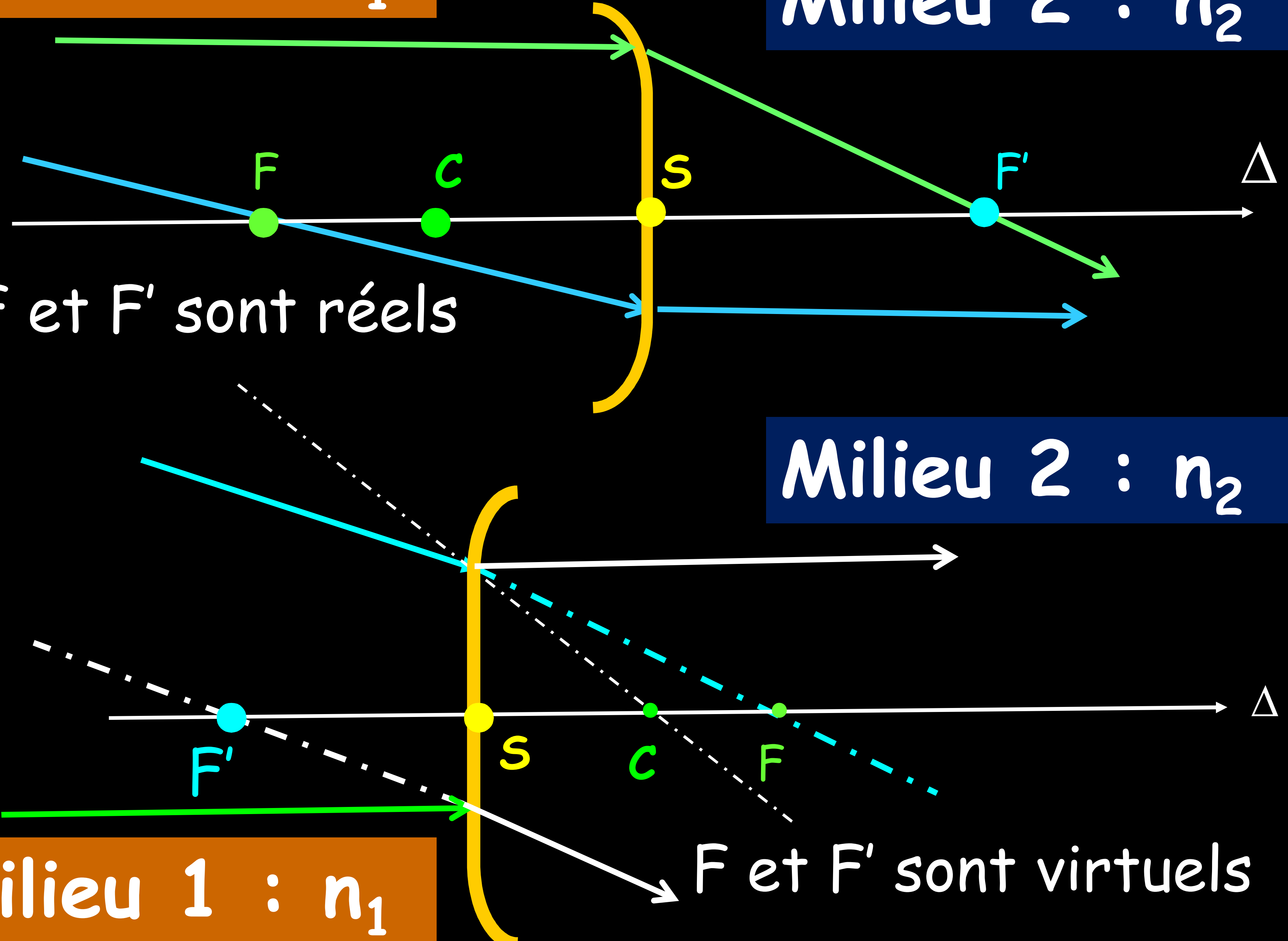
Le rapport des distances focales f et f' d'un dioptre sphérique (**S**, **C**, n_1, n_2) est égal au rapport des indices changé de signe.

$$f = \overline{SF} = \frac{R.n_1}{(n_1 - n_2)}$$

$$f' = \overline{SF'} = \frac{-R.n_2}{(n_1 - n_2)}$$

$$f + f' = R.\left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 - n_2}\right) = R \Rightarrow \overline{SF} + \overline{SF'} = \overline{SC}$$

Contrairement au miroir sphérique, il n'y a jamais de foyer entre S et C, pour un dioptre sphérique (S, C, n_1, n_2). .


Milieu 1 : n_1
$n_1 < n_2$
Milieu 2 : n_2
F
C
S
F'
Δ
F et F' sont réels
Milieu 2 : n_2
Δ
F'
S
C
F
Milieu 1 : n_1
F et F' sont virtuels

Exercice 13

$$A_0 \xrightarrow[(S_1,\infty,n_0,n_1)]{\Sigma_1(\text{plan})} A_1 \xrightarrow[(S_2,C_2,n_1,n_0)]{\Sigma_2} A_2$$

1)

$$\frac{n_1}{\overline{S_1A_1}} - \frac{n_0}{\overline{S_1A_0}} = 0 \quad \text{et} \quad \frac{n_2}{\overline{S_2A_2}} - \frac{n_1}{\overline{S_2A_1}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{S_2C_2}}$$

2)

•En considérant que $\mathcal{L}$ est une lentille mince, c'est-à-dire que son épaisseur est négligeable devant le rayon R_2, ce qui permet d'écrire :

$$S_1 = S_2 = S$$

Par conséquent ; la relation de conjugaison globale entre l'objet A_0 et son image finale A_2 s'exprime comme suit :

$$\frac{n_2}{\overline{SA_2}} - \frac{n_0}{\overline{SA_0}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC_2}}$$

3a) En supposant que $n_2 < n_1$:
$$\begin{cases} A_0 \to -\infty \Rightarrow A_2 \to F' \Rightarrow & \overline{SF'} = \dfrac{n_2.\overline{SC_2}}{n_2 - n_1} < 0 \\ A_2 \to +\infty \Rightarrow A_0 \to F \Rightarrow & \overline{SF} = -\dfrac{n_0.\overline{SC_2}}{n_2 - n_1} > 0 \end{cases}$$

$n = n_1 = 1{,}5$; $R_2 = 10$ cm et $n_0 = n_2 = 1$

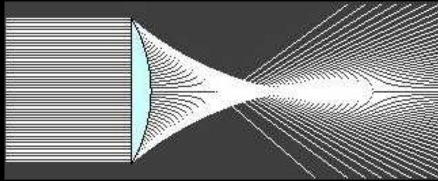
$$\overline{SF'} = \frac{1.10}{1-1{,}5} = -20\text{cm} \qquad \overline{SF} = -\frac{1.10}{1-1{,}5} = +20\text{cm}$$

3b) Les deux foyers sont alors virtuels, il s'agit bien d'une lentille divergente.

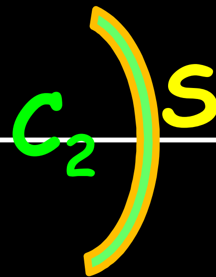
3c)
$$\frac{\overline{SF'}}{\overline{SF}} = \frac{f'}{f} = \frac{\dfrac{n_2.\overline{SC_2}}{n_2 - n_1}}{-\dfrac{n_0.\overline{SC_2}}{n_2 - n_1}} = -\frac{n_2}{n_0}$$

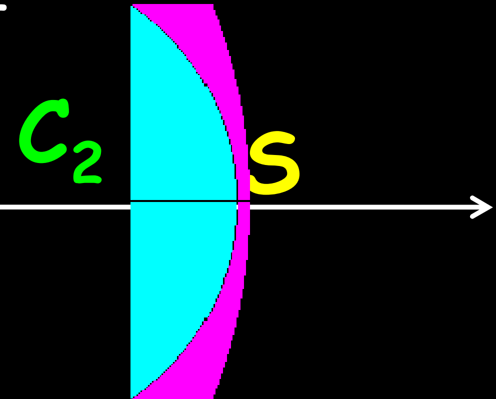
$$\frac{n_2}{\overline{SA_2}} - \frac{n_0}{\overline{SA_0}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC_2}}$$

4)
$$\Rightarrow V = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC_2}} = \frac{1-n}{\overline{SC_2}} = \frac{1-n}{R} = \frac{1-1{,}5}{10.10^{-2}} = -5\delta$$



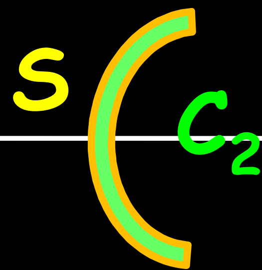
Dioptre convergent



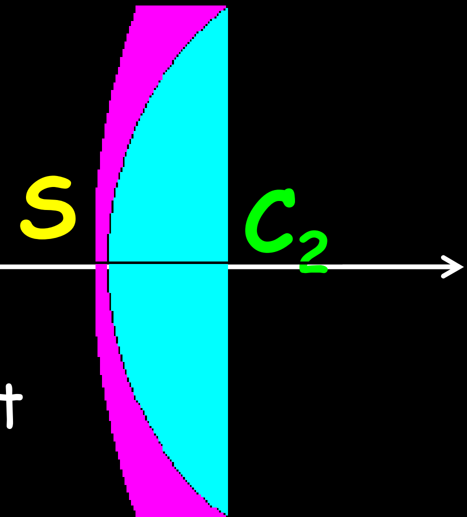


$$V = \frac{1}{f'} = \frac{1-n}{\overline{SC_2}} = \frac{1-n}{R} = \frac{1}{1m} = 1\delta \Rightarrow \boxed{\overline{SC_2} = R = \frac{1-n}{V} = \frac{1-1,5}{1} = -50cm}$$

Fin de l'exercice 12



Dioptre divergent



$$V = \frac{1}{f'} = \frac{1-n}{\overline{SC_2}} = \frac{1-n}{R} = -5\delta \Rightarrow \boxed{\overline{SC_2} = R = \frac{1-n}{V} = \frac{1-1,5}{-5} = +10cm}$$

vergence

$f = \overline{SF} = \dfrac{R.n_1}{(n_1 - n_2)}$

$f' = \overline{SF'} = \dfrac{-R.n_2}{(n_1 - n_2)}$

$$V = \frac{n_2}{\overline{SF'}} = -\frac{n_1}{\overline{SF}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$

$V = \dfrac{n_2 - n_1}{\overline{SC}} > 0$ alors V : convergence

$V = \dfrac{n_2 - n_1}{\overline{SC}} < 0$ alors V : divergence

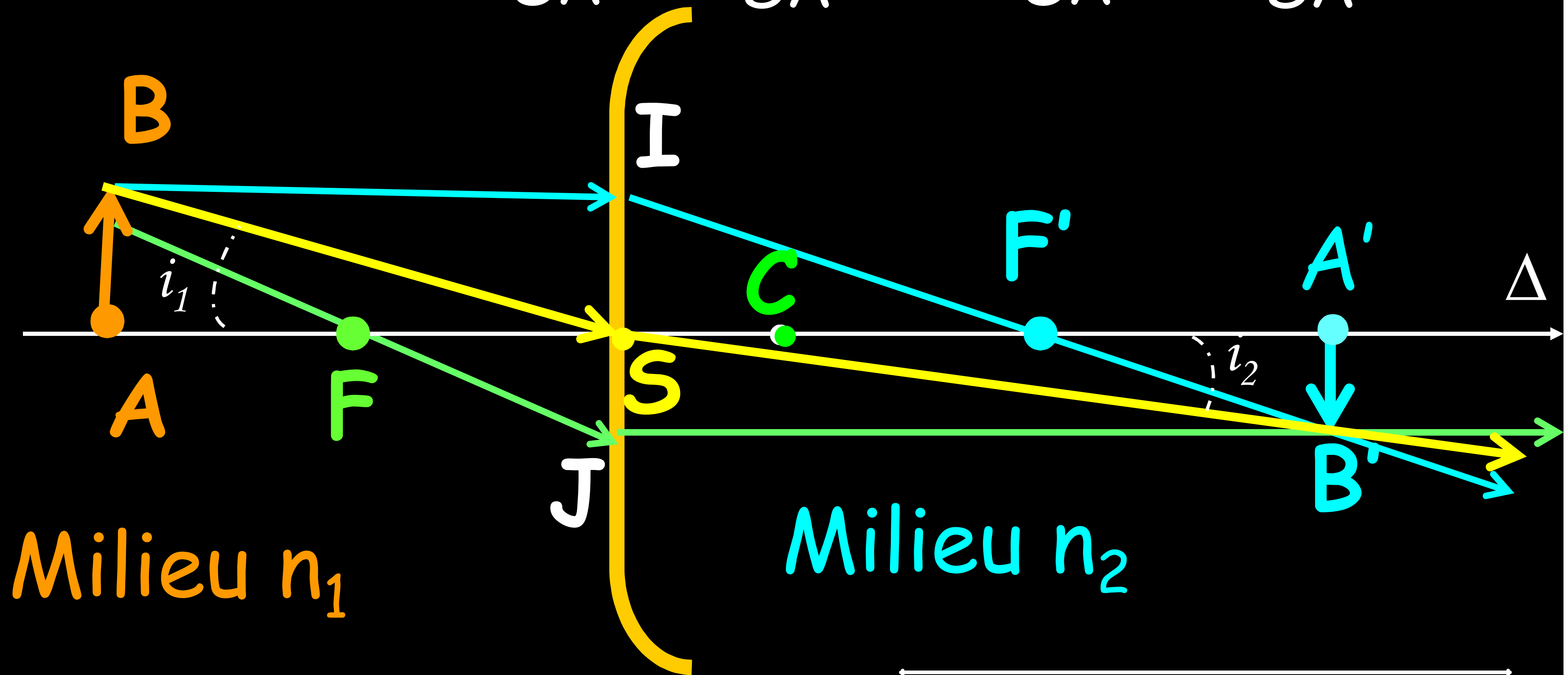
❖ Un dioptre sphérique est convergent si les deux foyers F et F' sont réels $\overline{SF'} > 0$ et $V > 0$

❖ Le centre C d'un dioptre sphérique convergent est situé dans le milieu le plus réfringent (indice de réfraction le plus grand).

❖ Un dioptre sphérique est divergent si les deux foyers F et F' sont virtuels $\overline{SF'} < 0$ et $V < 0$

❖ le centre C d'un dioptre sphérique divergent est situé dans le milieu moins réfringent (indice de réfraction le plus grand).

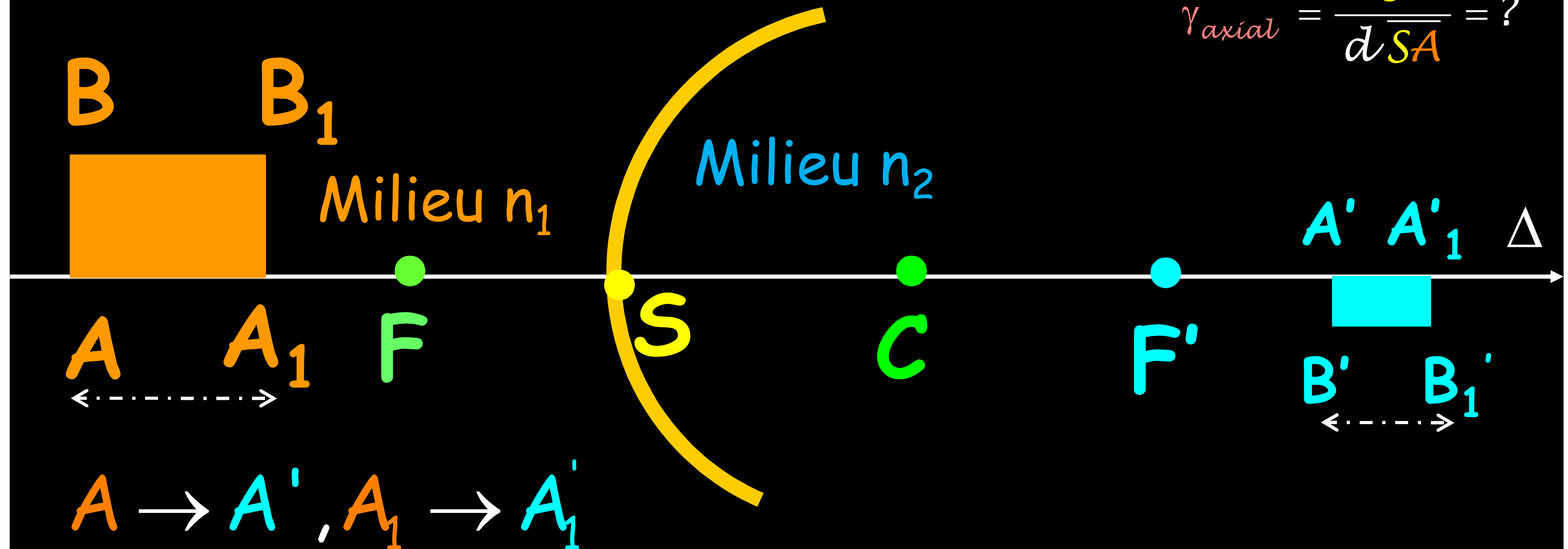
$$n_1 . i_1 = n_2 . i_2 , \quad i_1 = \frac{\overline{AB}}{\overline{SA}} , \; i_2 = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{SA'}} , \quad n_1 . \frac{\overline{AB}}{\overline{SA}} = n_2 . \frac{\overline{A'B'}}{\overline{SA'}}$$



Le grandissement transversal d'un dioptre sphérique (S, C, n_1, n_2)

$$\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{n_1}{n_2} \frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$

Grandissement axial ou longitudinal, pour un objet présentant une structure allongée sur l'axe optique Δ.



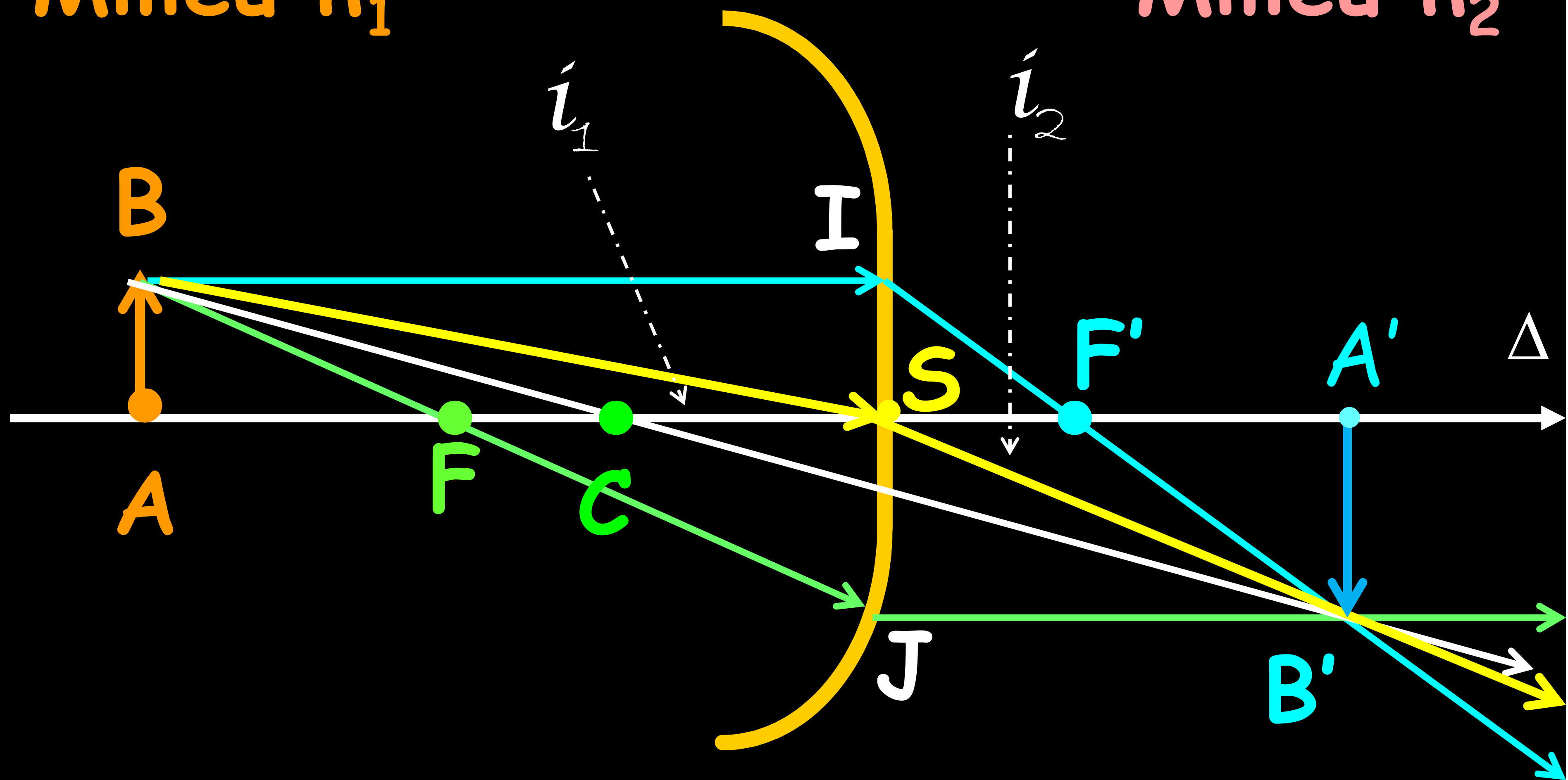
$$\gamma_a = \frac{n_1}{n_2}\cdot\frac{\overline{SA'}^2}{\overline{SA}^2} = \frac{n_2}{n_1}\cdot\left(\underbrace{\frac{n_1}{n_2}\cdot\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}}_{\gamma_t}\right)^2 = \frac{n_2}{n_1}\cdot\gamma_t^2$$

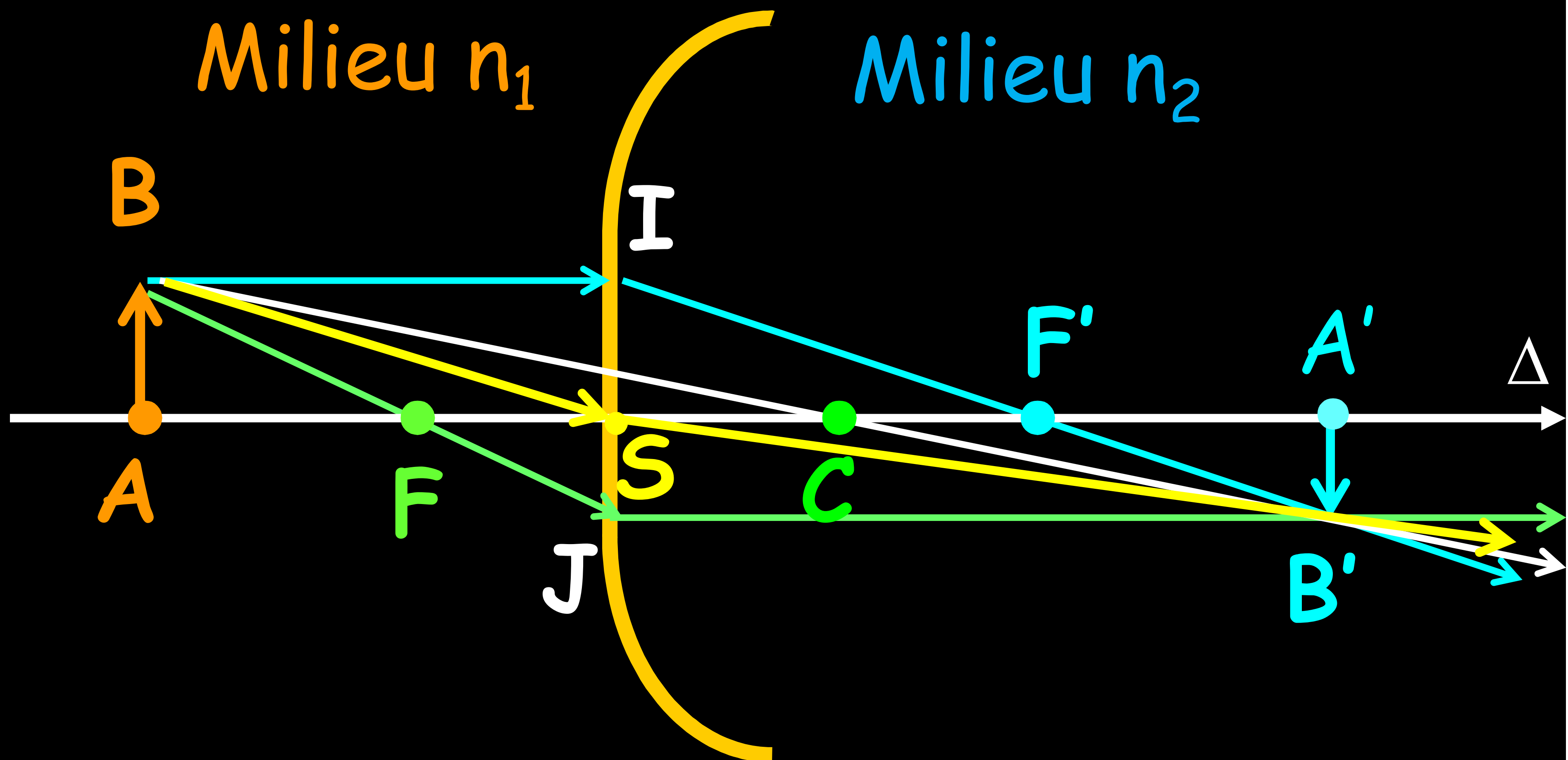
Construction géométrique

utilisation les rayons particuliers suivants :

- tout rayon passant par le centre **C** du dioptre n'est pas dévié
- tout rayon passant par le foyer objet **F** ressort // à l'axe Δ
- tout rayon // à l'axe optique Δ passe par le foyer image **F'**
- Tout rayon passant par le sommet **S** se trouve dévié en respectant la loi de Snell-Descartes.

Il est à noter que seulement **2 rayons** parmi ces **4** sont suffisants pour construire une image


Milieu n_1
Milieu n_2
i_1
i_2
B
A
F
C
I
S
J
F'
A'
B'
Δ


Milieu n_1
Milieu n_2
B
I
F'
A'
Δ
A
F
S
C
J
B'

Lentilles



Définition : Une lentille est un <u>milieu transparent</u> limité par <u>deux calottes sphériques</u>, ou par <u>une calotte sphérique et une plane.</u>

$R_1 = \overline{S_1C_1}$

$R_2 = \overline{S_2C_2}$

S_2

n

R_2

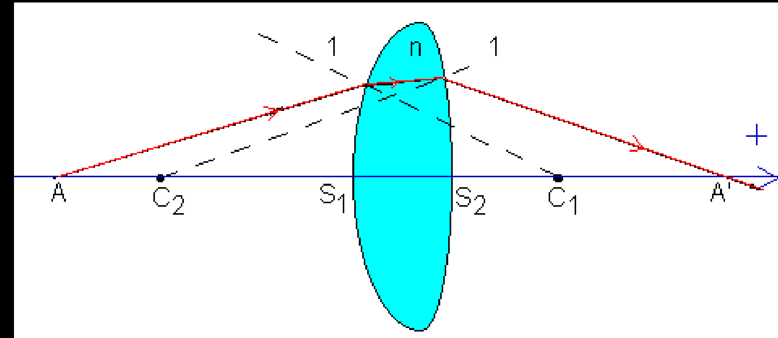
C_1

R_1

C_2

Δ

La lentille idéale : surfaces sphériques



L

C_2 S_1 S_2 C_1 Δ

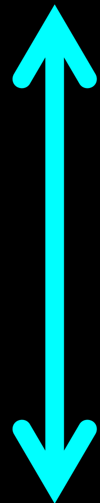
$\mathcal{R}_2$ $\mathcal{R}_1$

$$\overline{S_1S_2} = \left|\overline{S_2C_2} - \overline{S_1C_1}\right|$$

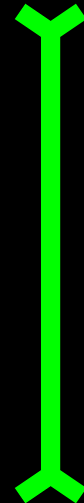
lentille mince si : $\overline{S_1S_2} \ll \overline{S_1C_1}$ $\overline{S_1S_2} \ll \overline{S_2C_2}$

Une lentille est dite mince quand son épaisseur, mesurée sur l'axe principal, est très petite comparée aux rayons de courbure.

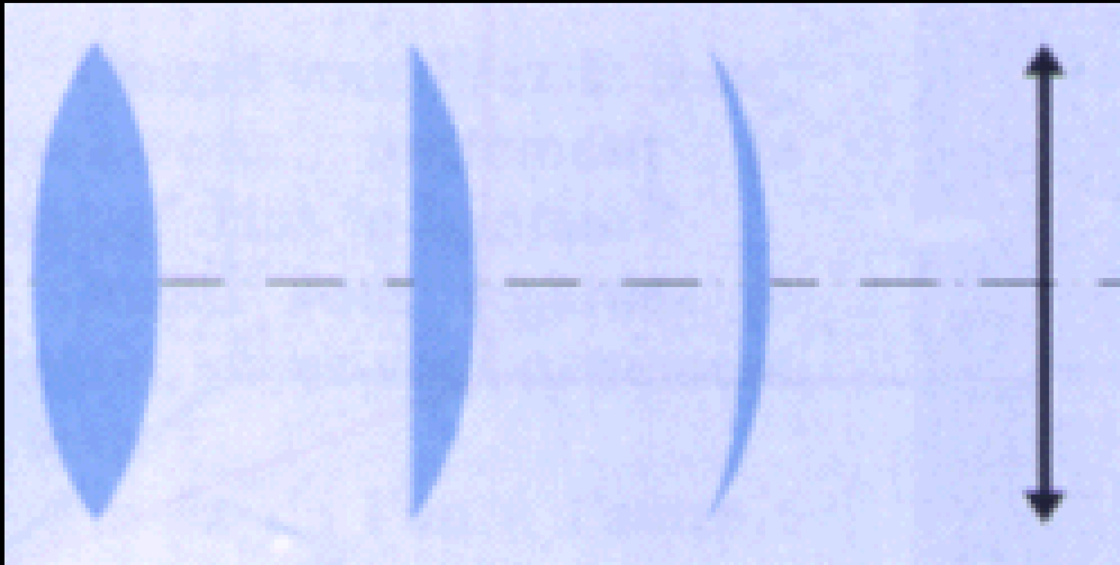
Par suite, nous représenterons **schématiquement** les lentilles à **bords minces** et à **bords épais**, respectivement **Convergente** **et** **Divergente**.



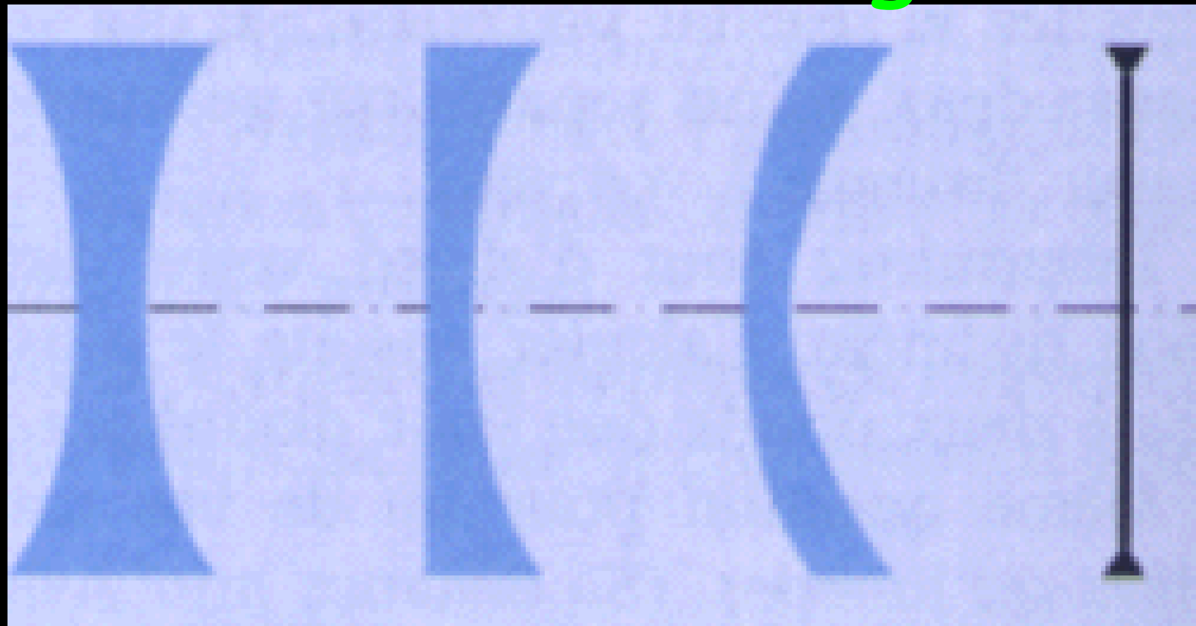
symbole



convergente



divergente

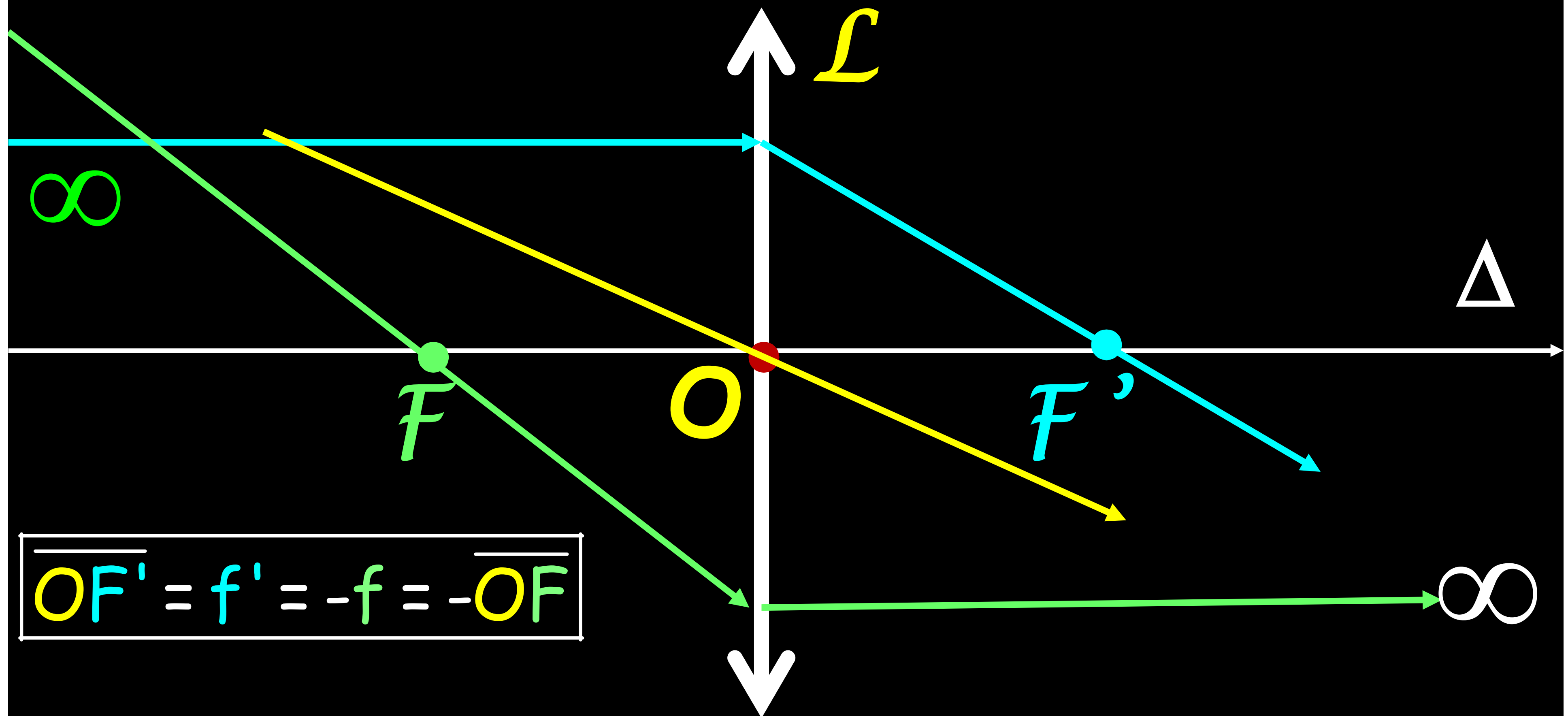




Lentille convergente :

- **Plans focaux** : Toute lentille mince **convergente**, quelle que soit sa forme, possède **deux foyers principaux réels**, **symétriques** par rapport au **centre optique O**.
- **Le premier** est le **foyer principal objet** et le **second** est le **foyer principal image**.

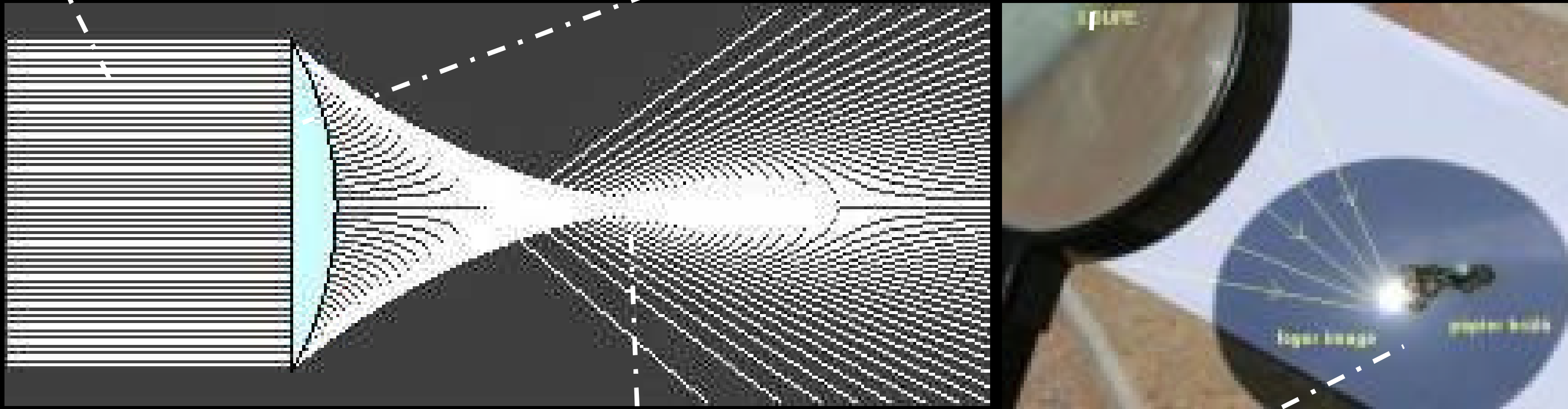
L'infini ∞ et le foyer principal image F' sont conjugués par la lentille $\mathcal{L}$



le foyer principal objet F et L'infini ∞ sont conjugués par la lentille $\mathcal{L}$

Lentille convergente

Lumière parallèle



Foyer principal image

On appelle distance focale d'une lentille mince, la <u>mesure algébrique</u> :

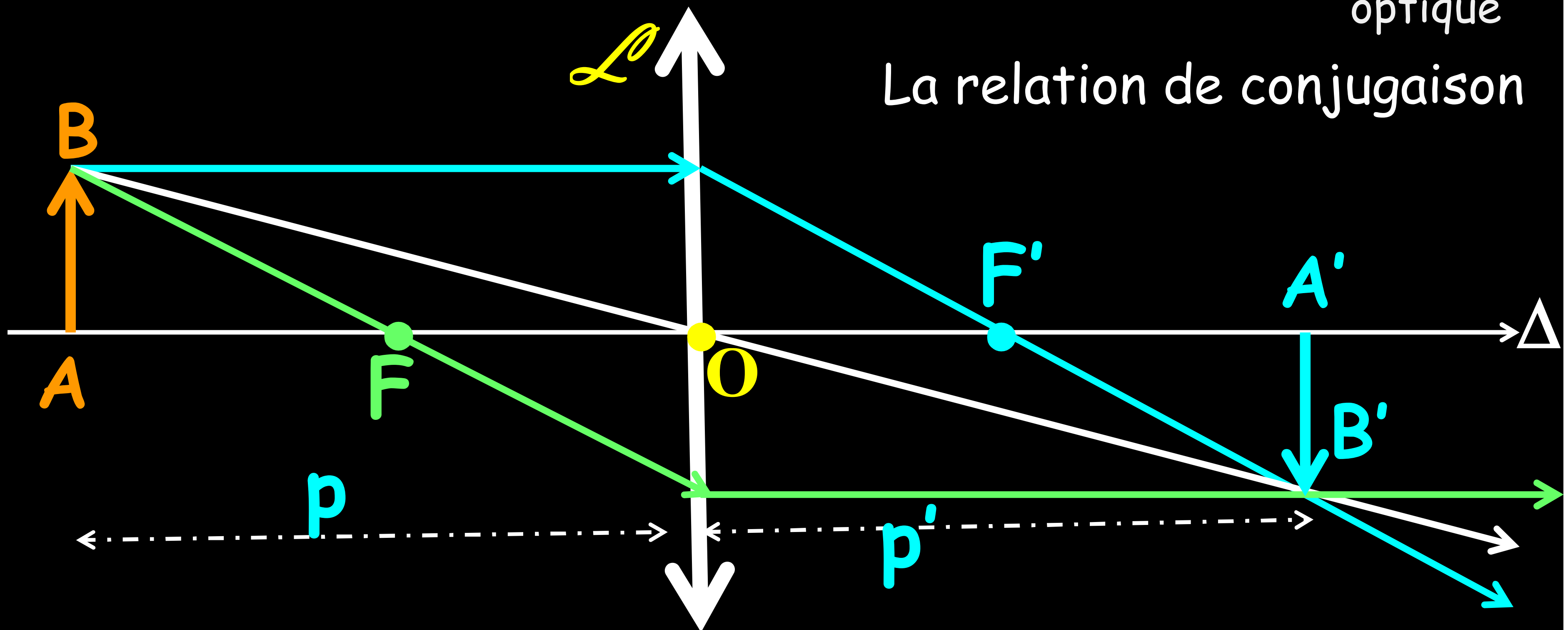
$$\overline{OF'} = f' = -f = -\overline{OF}$$

$$\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \Rightarrow \gamma_t = \frac{p'}{p}$$

grandissement linéaire

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$$

Image Objet = Instrument optique



vergence v

$$v = \frac{1}{f'} = -\frac{1}{f} \quad \text{(dioptries)}$$

La relation de conjugaison du point source A et son image A', fournie par une lentille convergente $\mathcal{L}$ de distance focale f'.

Lentille divergente :



Plans focaux : Toute lentille **divergente**, quelle que soit sa forme, possède **deux foyers principaux virtuels**, **symétriques** par rapport au **centre optique O**.

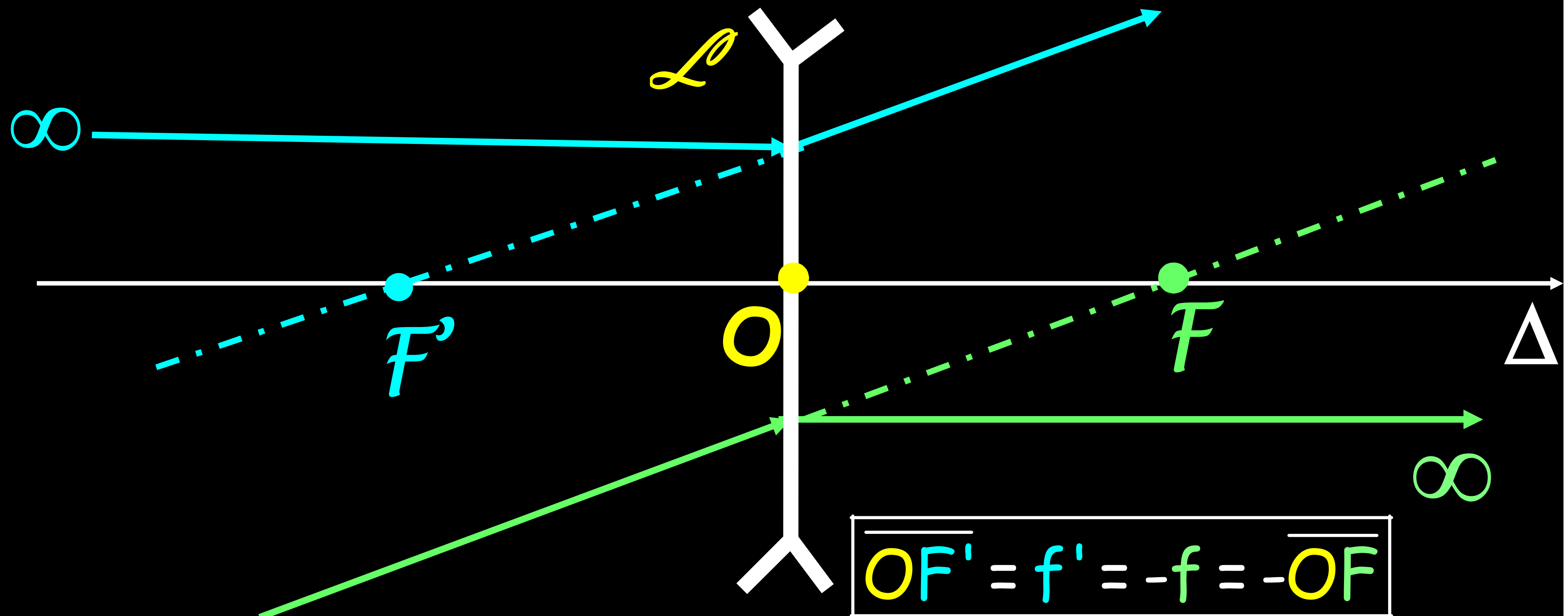
Le premier est le **foyer principal objet** et le **second est le foyer principal image**. Ce dernier est **l'image** d'un **point situé à l'infini**.

L'infini ∞ et le foyer principal **image F'** sont conjugués par la lentille divergente $\mathcal{L}$

le foyer principal **objet F** et L'infini ∞ sont conjugués par la lentille $\mathcal{L}$

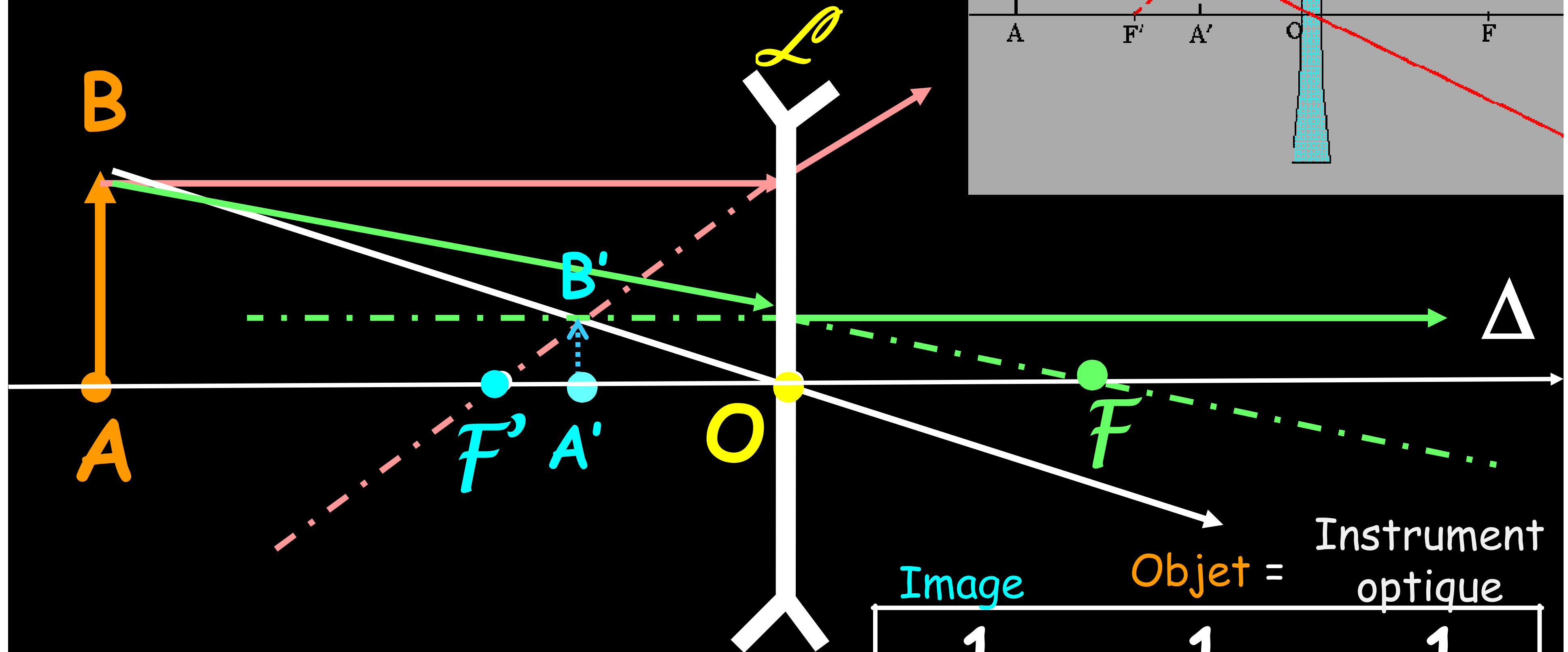
Autrement dit, **tout rayon parallèle** à **l'axe principal optique** Δ de la lentille **émerge** de celle-ci comme s'il venait du **foyer principal image F'**.

Et tout rayon incident qui passe par le foyer principal objet F de la lentille, émerge de celle-ci **parallèle** à **son axe principal optique** Δ.



AB : objet réel,

A'B' : image virtuelle, droite affaiblie



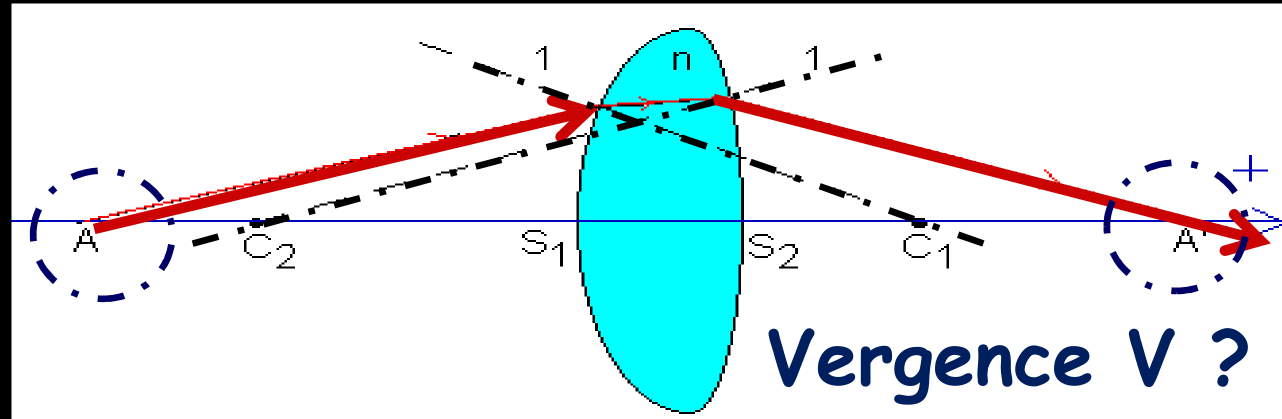
La vergence, exprimée dioptrie, d'une lentille mince est l'**inverse** de sa **distance focale f '**.

$$V_{(\delta)} = \frac{1}{f'_{(m)}}$$

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$$

La relation de conjugaison

Une lentille épaisse est une succession de deux dioptres sphériques (S_1, C_1, n_0, n) et (S_2, C_2, n_0, n). A et A' sont conjugués



$$A \xrightarrow[(S_1, C_1, 1, n)]{DioptreSpherique} A' \xrightarrow[(S_2, C_2, n, 1)]{DioptreSpherique} A''$$

Une lentille mince

$$S_1 = S_2 = S$$

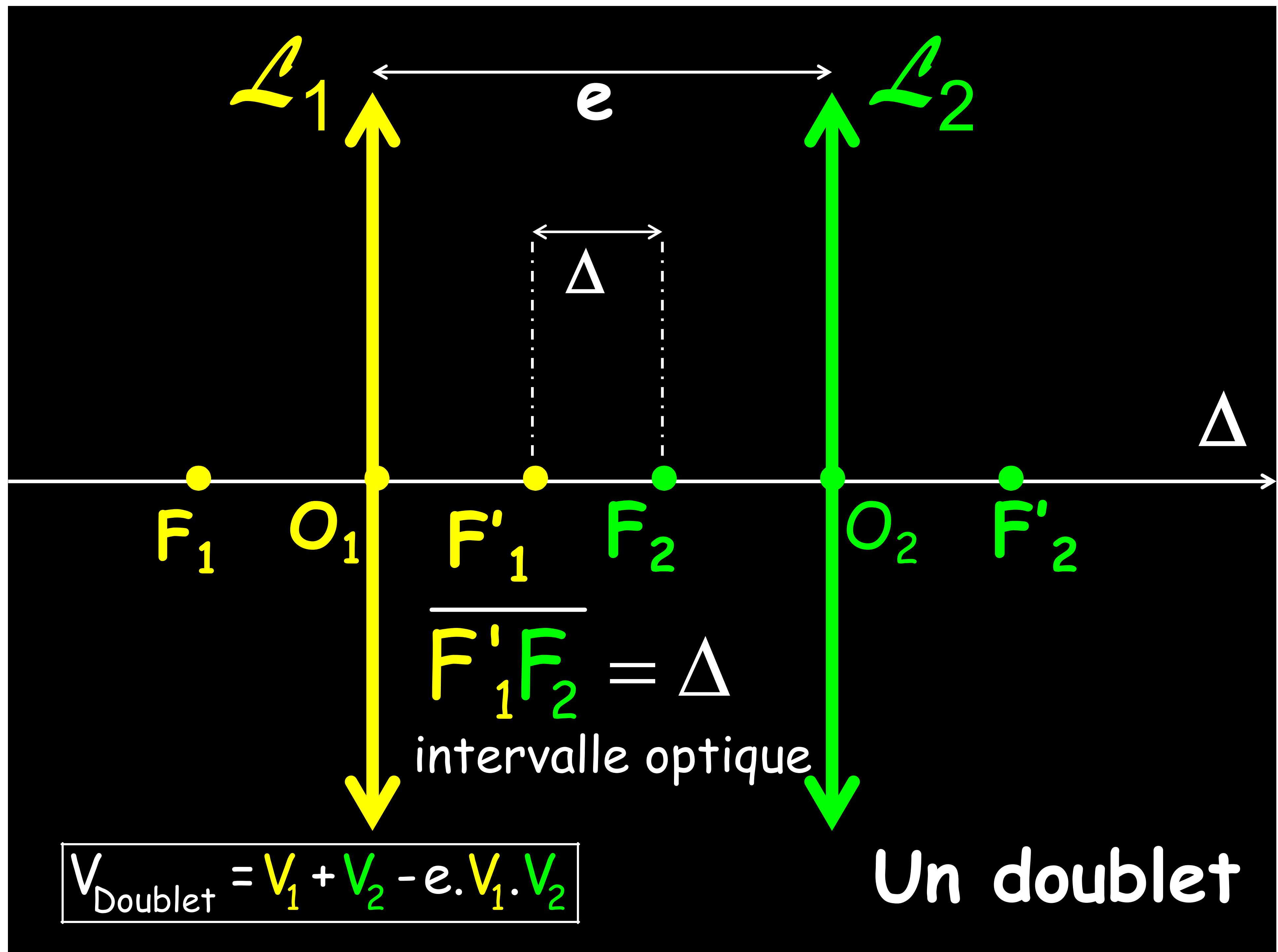
$$\frac{1}{\overline{SA''}} - \frac{1}{\overline{SA}} = (n-1).\left(\frac{1}{\overline{SC_1}} - \frac{1}{\overline{SC_2}}\right)$$

vergence

$$V = (n-1).\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

Association de Lentilles

Association de lentilles



$\mathcal{L}_1$
e
$\mathcal{L}_2$
Δ
Δ
F_1
O_1
F'_1
F_2
O_2
F'_2
$\overline{F'_1F_2} = \Delta$
intervalle optique
$V_{Doublet} = V_1 + V_2 - e.V_1.V_2$
Un doublet

Vergence d'un doublet:

Formule de Gullstrand

$$V_{Doublet} = V_1 + V_2 - e.V_1.V_2$$

$$\frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} - \frac{e}{f'_1.f'_2} = \frac{1}{f'} \Rightarrow f' = \frac{f'_1.f'_2}{f'_1 + f'_2 - e}$$

La distance focale d'une lentille équivalente $\mathcal{L}$

Dans le cas où les 2 lentilles sont accolées, e=0, alors la vergence :

$$V = V_1 + V_2$$

Distance focale :

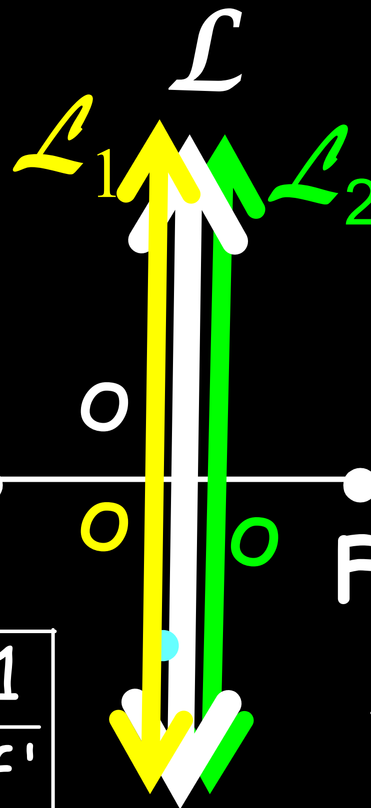
$$\frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} = \frac{1}{f'} \Rightarrow f' = \frac{f'_1.f'_2}{f'_1 + f'_2}$$

Théorème des vergences

Un système de lentilles minces **accolées** est équivalent à une lentille mince unique de même centre optique O et de **vergence** égale à **la somme algébrique** des vergences des **lentilles accolées**.

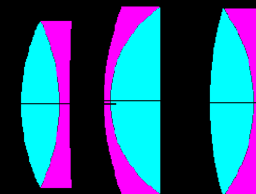
$$\frac{-1}{p} + \frac{1}{p_1} = \frac{1}{f'_1}$$

$$\frac{-1}{p_1} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f'_2}$$



$$V_1 + V_2 = V$$

Exemples :





F_1 F_2 F F' F'_2 F'_1

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \underbrace{\frac{1}{f'_1}}_{V_1} + \underbrace{\frac{1}{f'_2}}_{V_2} = \underbrace{\frac{1}{f'}}_{V}$$

$$\frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} = \frac{1}{f'} \Rightarrow f' = \frac{f'_1 . f'_2}{f'_1 + f'_2}$$

Distance focale de $\mathcal{L}$

$\mathcal{L}$

B

A

F

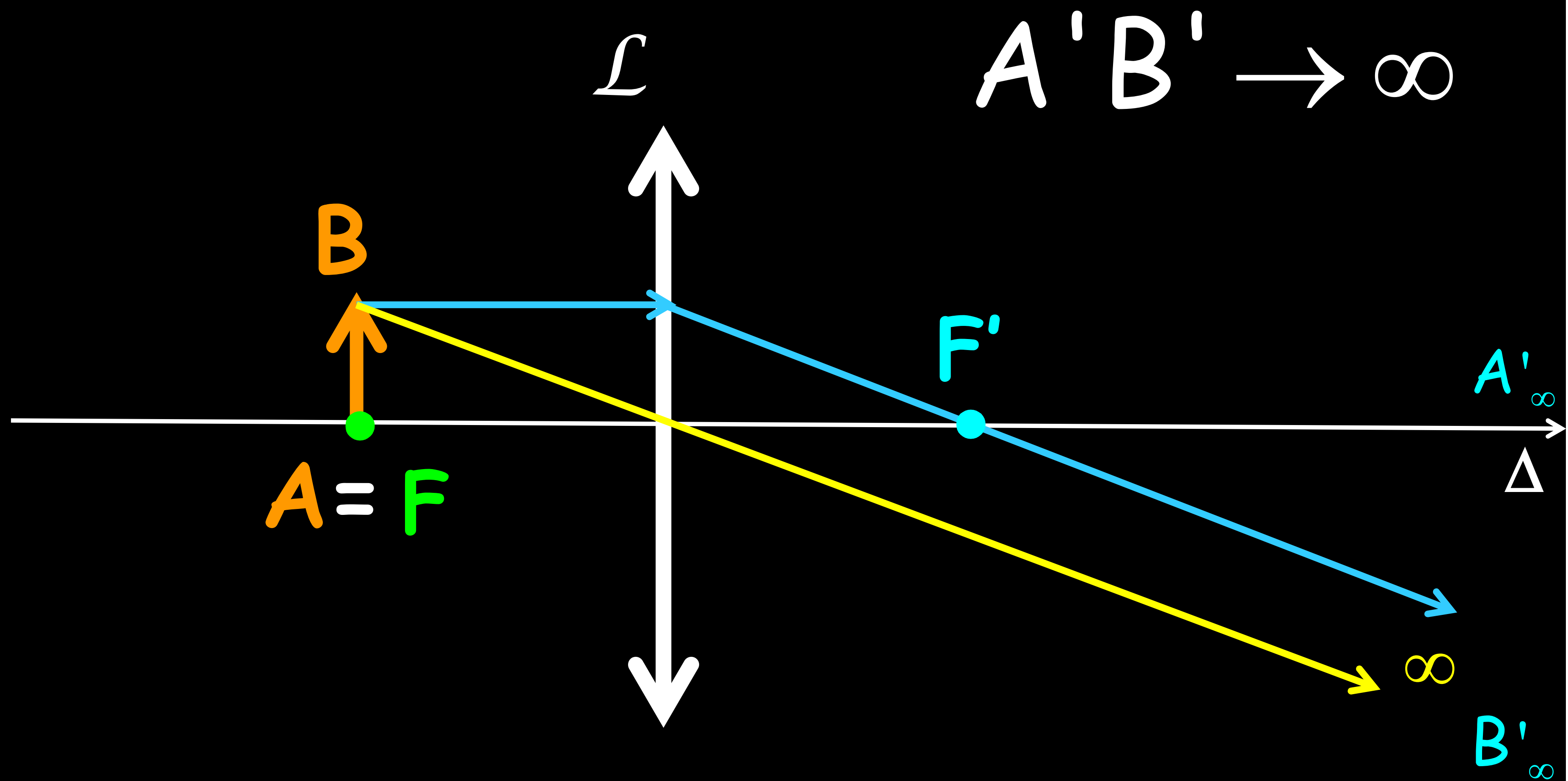
F'

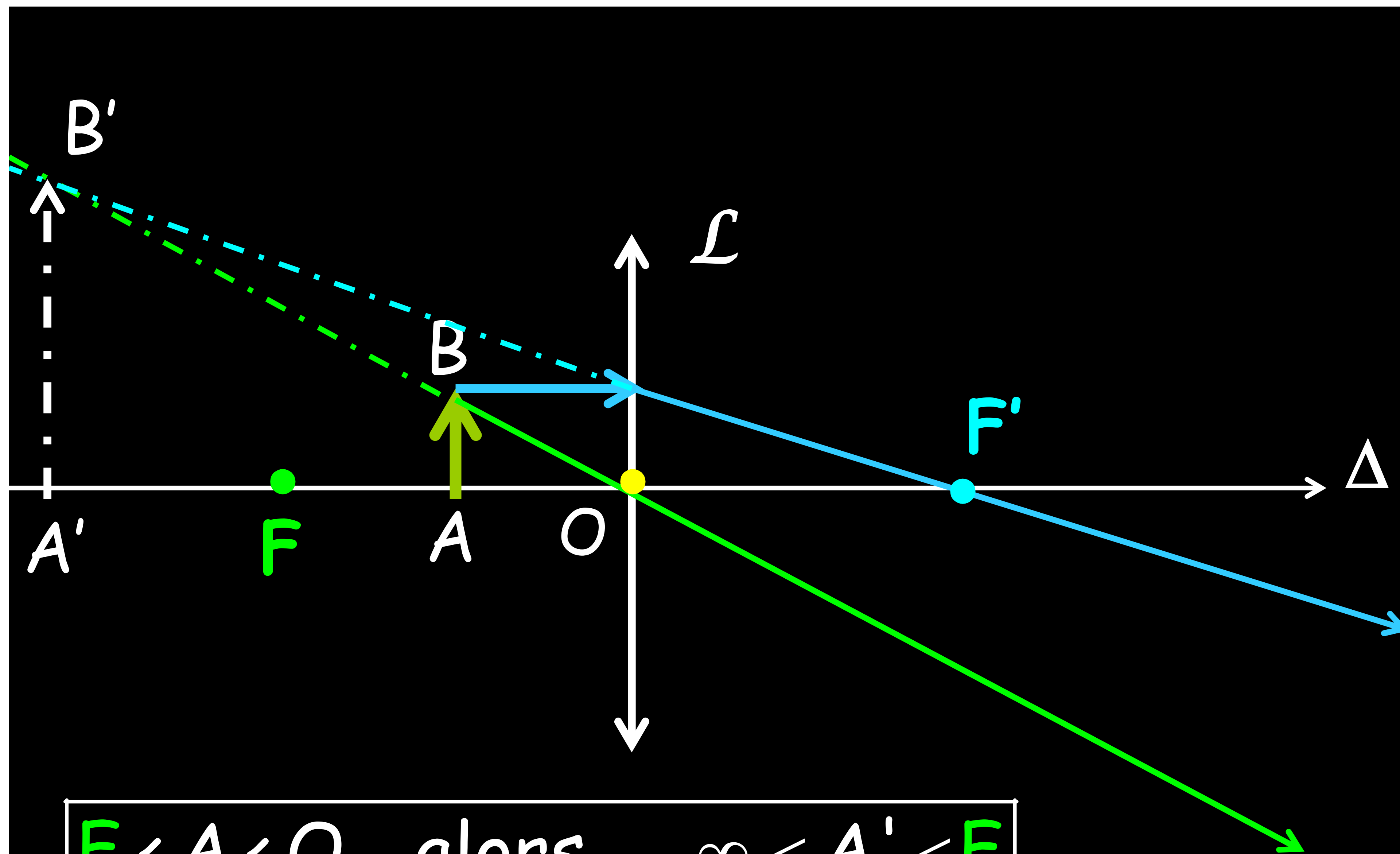
A'

Δ

B'




A'B' → ∞
ℒ
B
F'
A'∞
Δ
A = F
∞
B'∞


B'
ℒ
B
F'
Δ
A'
F
A
O
F < A < O alors −∞ < A' < F

Exercice 16 : Association de deux lentilles minces convergentes

1)

$$AB \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A_1B_1 \Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1A_1}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} = \frac{1}{\overline{O_1F_1'}} \Rightarrow \boxed{\overline{O_1A_1} = \frac{\overline{O_1A}.\overline{O_1F_1'}}{\overline{O_1A}+\overline{O_1F_1'}}}$$

A.N.

$$\boxed{\overline{O_1A_1} = \frac{(-40).(8)}{-40+8} = +10cm}$$

$$A_1B_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A_2B_2 \Rightarrow \frac{1}{\overline{O_2A_2}} - \frac{1}{\overline{O_2A_1}} = \frac{1}{\overline{O_2F_2'}} \Rightarrow \boxed{\overline{O_2A_2} = \frac{\overline{O_2A_1}.\overline{O_2F_2'}}{\overline{O_2A_1}+\overline{O_2F_2'}}}$$

A.N. $\boxed{\overline{O_2A_2} = \frac{(-20).(12)}{-20+12} = +30cm}$ avec $\overline{O_2A_1} = \overline{O_2O_1} + \overline{O_1A_1} = -30+10 = -20cm$

2)

$$\boxed{\gamma_{1t} = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{O_1A_1}}{\overline{O_1A}} = \frac{+10}{-40} = -0,25}$$

$$\boxed{\gamma_{2t} = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{\overline{O_2A_2}}{\overline{O_2A_1}} = \frac{30}{-20} = -1,5}$$

$$\boxed{\gamma_t = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}}.\frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}} = \gamma_{1t}.\gamma_{2t} = 0,38}$$

3) L'image finale A_2B_2 est alors réelle, droite plus petite que l'objet AB.

4) La vergence de ces deux lentilles espacées de e=30cm de vergence respectivement V_1 et V_2 (doublet) s'écrit comme suit :

$$V = V_1 + V_2 - e.V_1.V_2$$

$$V = \frac{1}{8.10^{-2}} + \frac{1}{12.10^{-2}} - 30.10^{-2}.\frac{1}{8.10^{-2}}.\frac{1}{12.10^{-2}}$$

La distance focale f' de ce doublet est :

$$f' = \frac{1}{V} = \frac{1}{-10,42} = -0,096m = -9,6cm$$

5)

Si les 2 lentilles sont accolées, alors la vergence :

$$V = V_1 + V_2 \Rightarrow V = \frac{1}{8.10^{-2}} + \frac{1}{12.10^{-2}} = 100.\frac{20}{96} = 20,83\delta$$

$$V = 20,83\delta \Rightarrow f' = \frac{1}{V} = \frac{1}{20,83} = 4,8.10^{-4}m = 0,48mm$$

Fin...

Fin de l'exercice 16



Les instruments d'optique

L'œil , La loupe, et le microscope

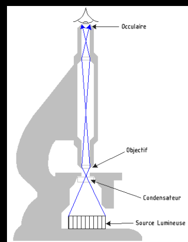
SVT session d'automne 2012

Pr Hamid TOUMA
Département de Physique
Faculté des Sciences de Rabat
Université Mohamed V

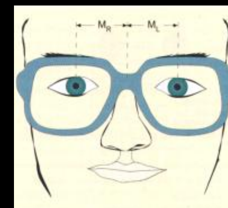
Généralités sur les instruments d'optiques :

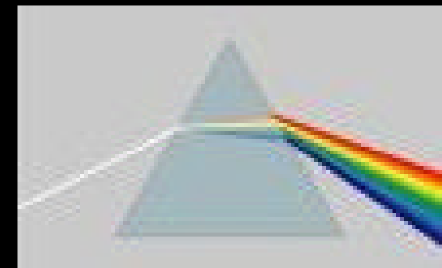
<u>Classification</u> : Les instruments d'optiques sont de types différents très variés.

1. Les plus fréquemment utilisés sont des appareils destinés à aider l'œil dans **l'observation des objets**.
2. Analyser la lumière émise ou absorbée (spectrographe).





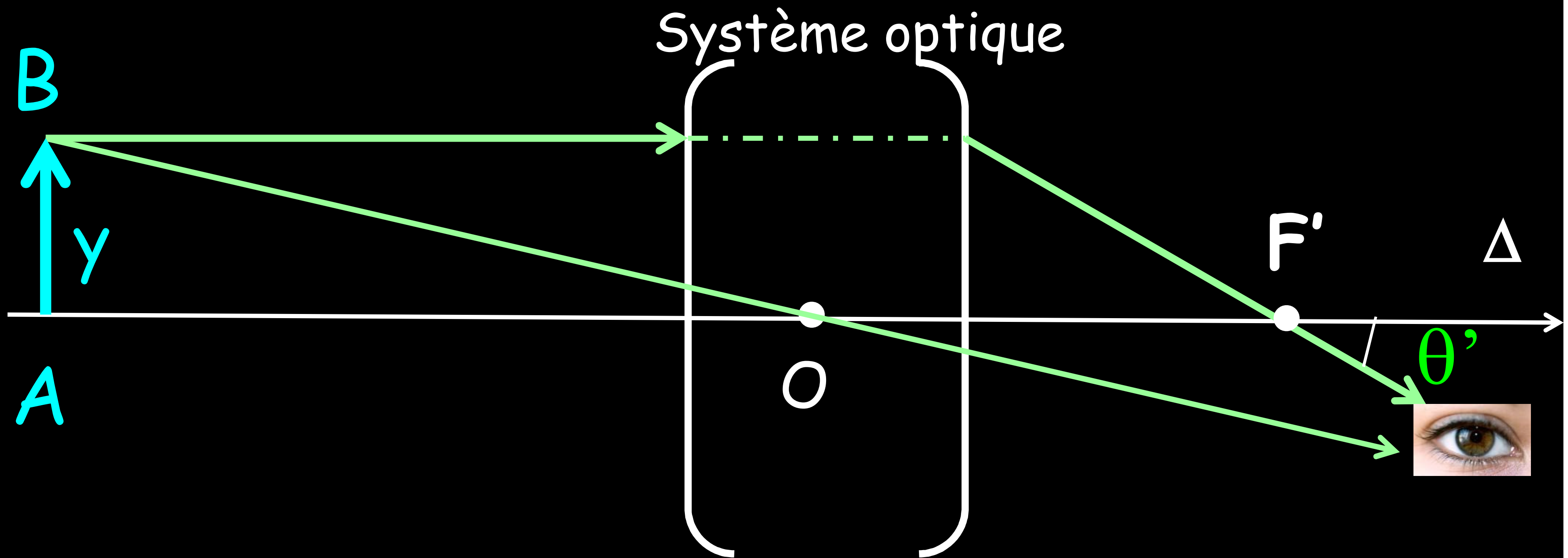




Un instrument d'optique est caractérisé par les paramètres suivants :

Grandissements $\gamma_{transversal}$ et γ_{axial} : Facteurs qui caractérisent les **grandeurs de** l'image obtenue à l'aide de cet **instrument d'optique** comme le **microscope** et l'objectif **photographique**.

$$\gamma_{transversal} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \quad \text{et} \quad \gamma_{axial} = \frac{d\overline{OA'}}{d\overline{OA}}$$



Soit θ' le diamètre apparent de l'image. θ' est l'angle sous lequel l'observateur voit à travers l'instrument une dimension y déterminée de l'objet. Ce diamètre est proportionnel à la grandeur y de la dimension correspondante de l'objet.

$$\theta' = \frac{y}{f'}$$

Image 'taille angulaire' (θ')

Objet 'taille linéaire' (y)

Instrument 'distance focale' (f')

Vergence

$$V(\delta) = \frac{1}{f'(m)}$$

Puissance P : Facteur qui caractérise uniquement les instruments destinés à la vision d'objets rapprochés comme la loupe et le microscope.

$$P(\text{Dioptries}) = \frac{\theta'(\text{rd})}{y(\text{m})}$$

Il est à remarquer que θ' peut être exprimer en fonction de la vergence V du système optique :

$$\theta' = y.V \qquad P = V$$

La puissance est égale à la vergence de l'instrument d'optique.

Système optique

B

y

θ

A

O

d

A'

θ'

y'

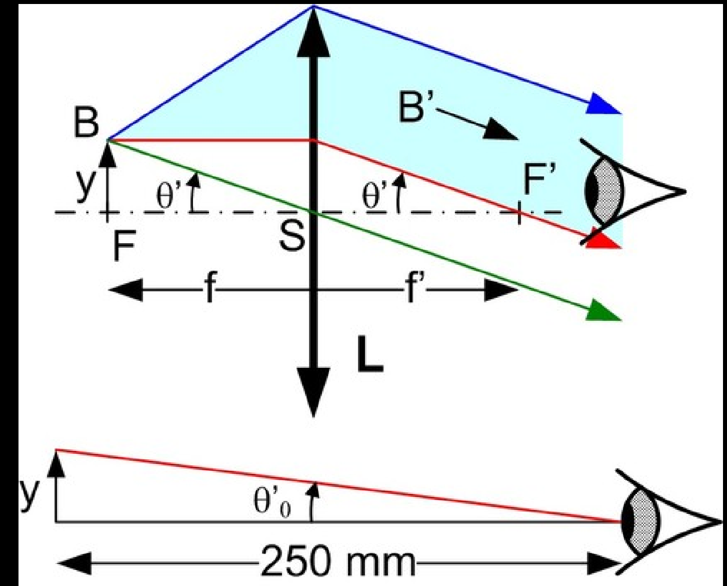
d'

B'

Grossissement G : Pour les objets rapprochés, on utilise les instruments d'optiques comme la loupe et le microscope. Le grossissement est défini par l'expression suivante :

$$\begin{cases} \theta = \dfrac{y}{d} \\ \theta' = \dfrac{y'}{d'} \end{cases}$$

$$G = \frac{\theta'}{\theta} \geq 1$$



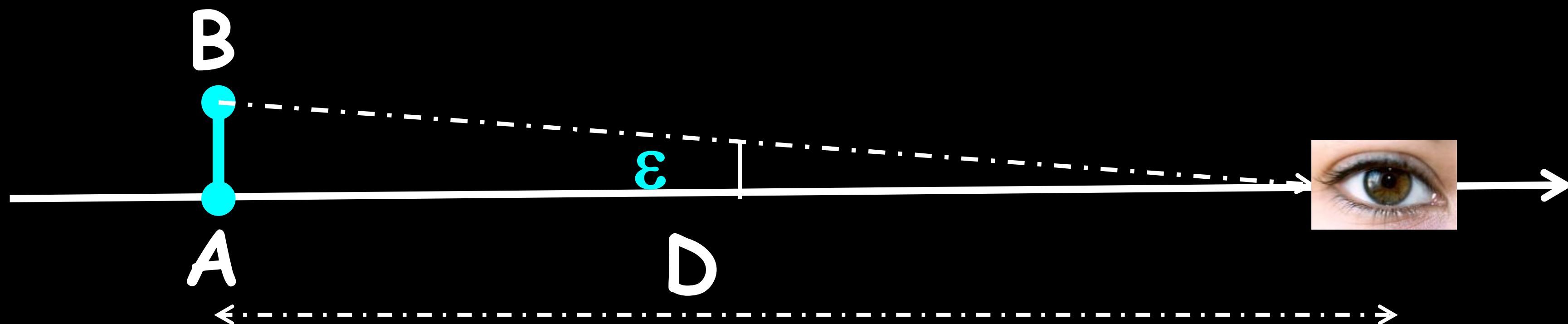
$$\theta \simeq \frac{y}{d} \quad \text{et} \quad \theta' \simeq \frac{y'}{d'}$$

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\theta'}{y}.d = P.d = V.d$$

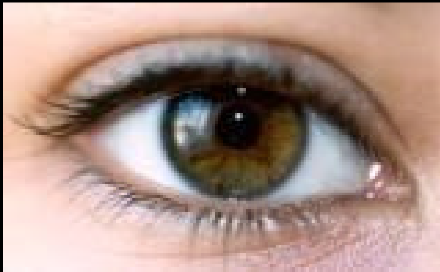
où la **vergence V** est égale à la **Puissance P**, avec **d** est la **distance à l'objet** et **d' la distance à son image**.

Pouvoir séparateur : est un paramètre qui se rapporte à la limite de perception des détails : $tg(\varepsilon) = AB/D = \varepsilon_{rd}$

C'est souvent la qualité la plus importante pour un instrument d'optique.



L'œil

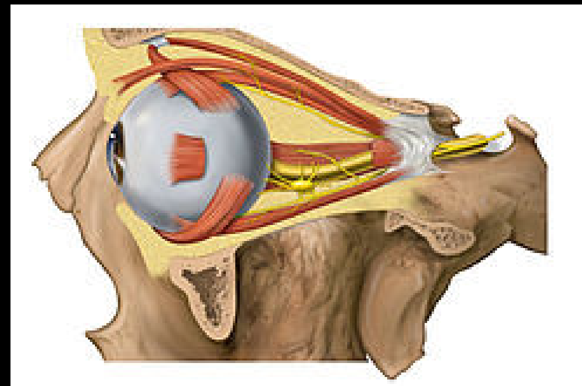


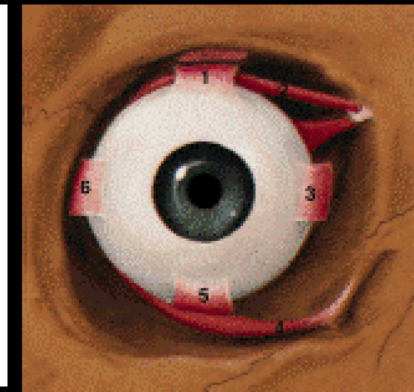


Description :

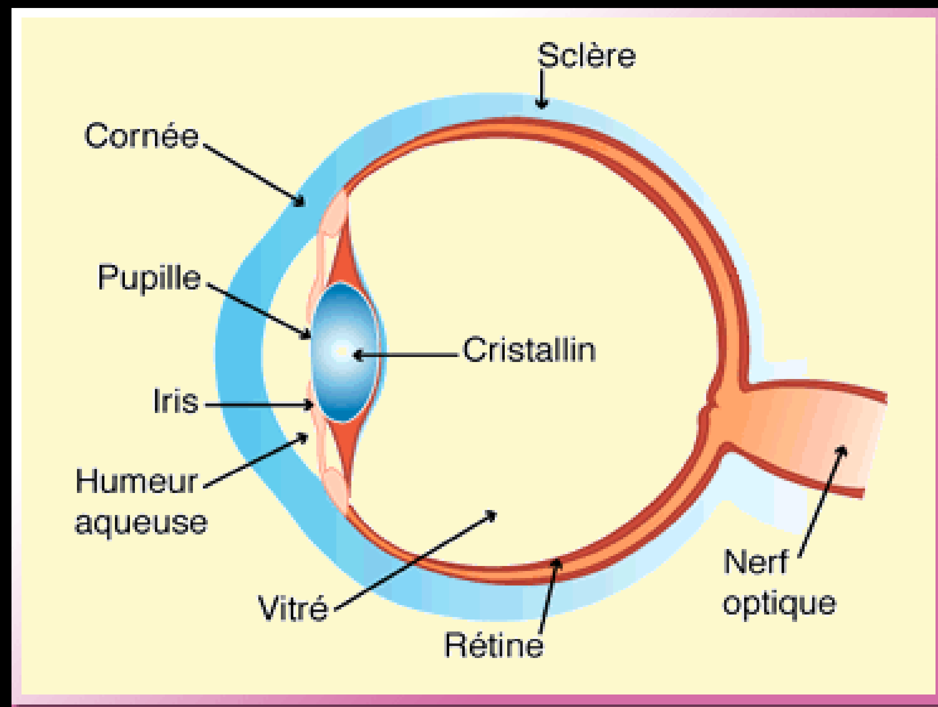
L'œil est l'organe de la vision. Il sert à observer directement des objets ou bien à examiner les images formées par des systèmes d'optiques. Son rôle est fondamental dans l'étude de l'optique.

L'œil est un globe de 8 grammes, de 25 mm environ de diamètre, recouverte d'une enveloppe blanche, la sclérotique, membrane d'épaisseur voisine de 2 mm, dont la partie antérieure ou cornée, bombée (8mm de rayon), est transparente, pour laisser passer la lumière.

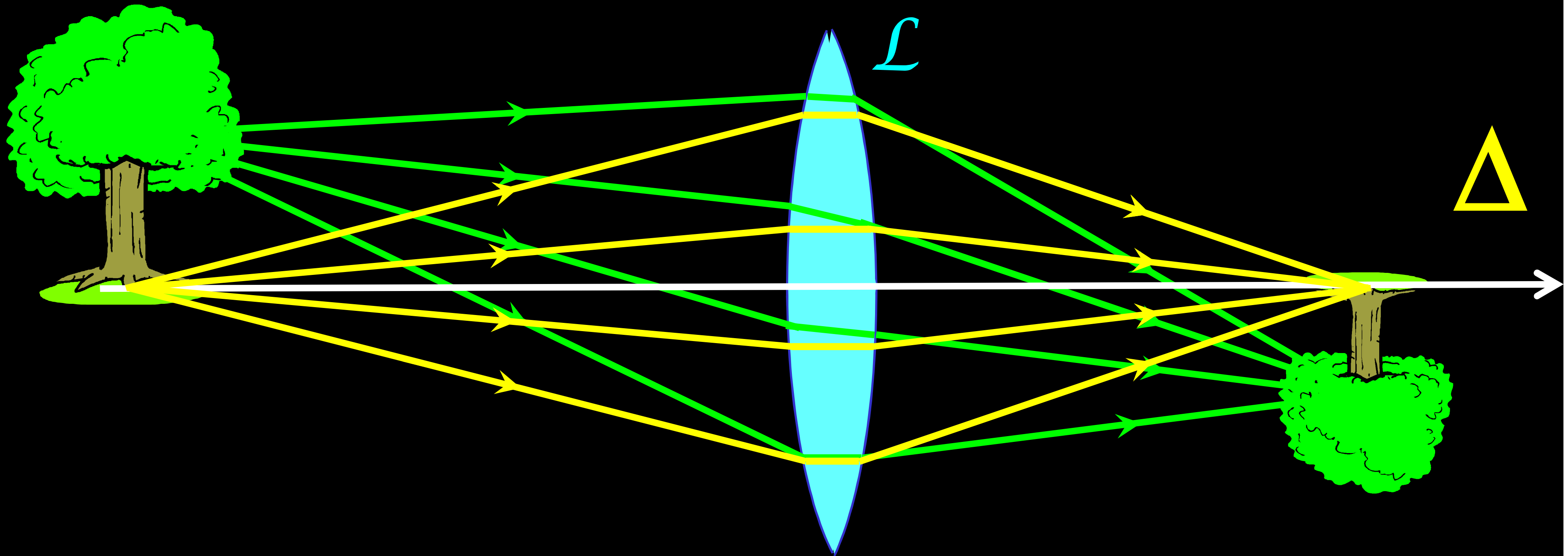




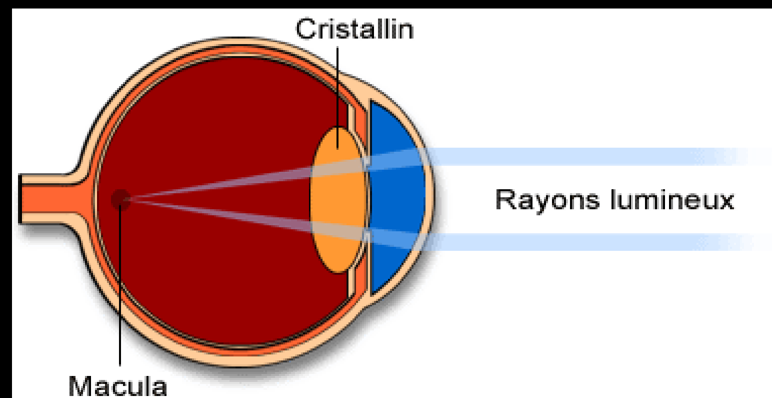
- Le **cristallin** est une lentille qui converge la lumière sur le fond de l'œil qui est la **rétine**.
- La couleur des yeux est assurée par **l'iris**, un diaphragme devant le **cristallin**, qui commande l'ouverture de **la pupille** a un diamètre variable de 2 à 8 mm, selon l'âge de la personne.



De point de vue optique, l'œil fonctionne comme un appareil photographique. L'image formée est inversée pour les deux.



Le **fond de l'œil** est tapissé par la **rétine R**, **écran** sur lequel se forme **l'image**. La rétine est composée de diverses couches de faibles épaisseurs (10 à 40 µm). Une couche est constituée de **deux sortes de cellules**, de formes différentes, **les cônes** ayant un diamètre de 4mm, et les **bâtonnets**. La rétine est l'épanouissement du **nerf optique**, dont les filaments aboutissent à ces cellules.

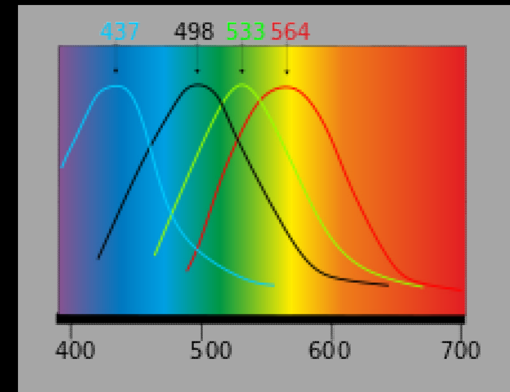


La répartition de ces cellules n'est pas régulière : une légère dépression, la **Fovea centralis**, de **0,3 mm** de diamètre, ne comprend que des **cônes** et se place au centre de la **tache jaune T**(diamètre 2mm).

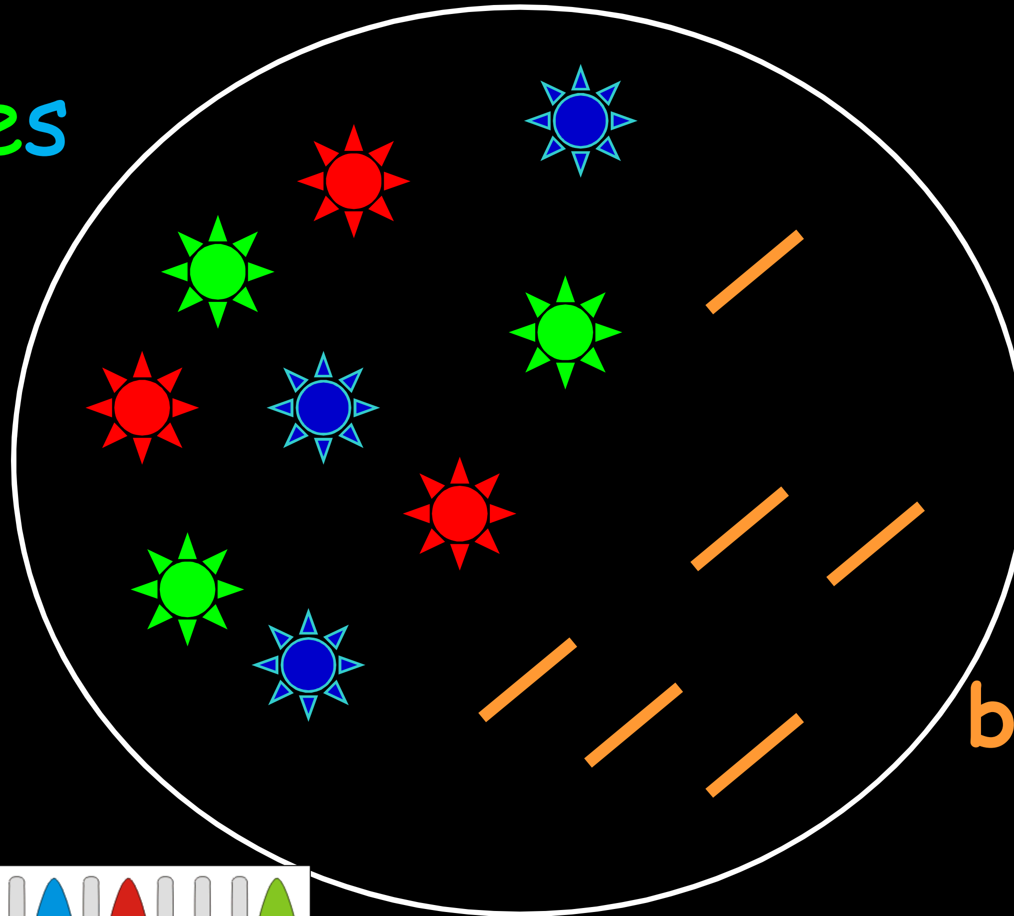
En fait, la sensibilité de la rétine pour la vision diurne est limitée à cette **tache T** (riche en **cônes**), légèrement écartée de l'axe de l'œil.

En revanche, **la sensibilité** de la rétine pour la vision nocturne est limitée à la région riche en **bâtonnets**.

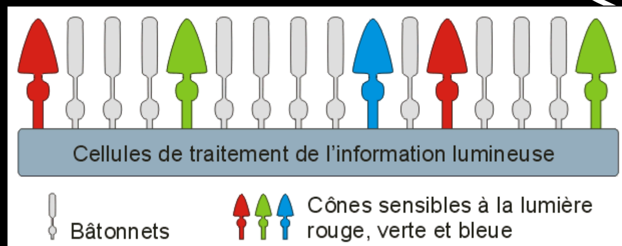
Les bâtonnets assurent la vision quand la lumière diminue d'intensité.



cônes



bâtonnets



Comment l'œil perçoit les couleurs ?

- **Les daltoniens** n'arrivent pas à faire une **association de couleurs.** Donc ils n'aperçoivent pas une ou deux des couleurs principales : **confusion de couleurs**.
- 8% de la population mondiale sont des daltoniens, dont la majorité sont des garçons.
- Les mamans qui transmettent ce défaut visuel aux garçons.

- **Les deux yeux** sont écartés de 7 cm, ce qui fait qu'ils ne voient pas la même chose. **D'où la notion du perspective**

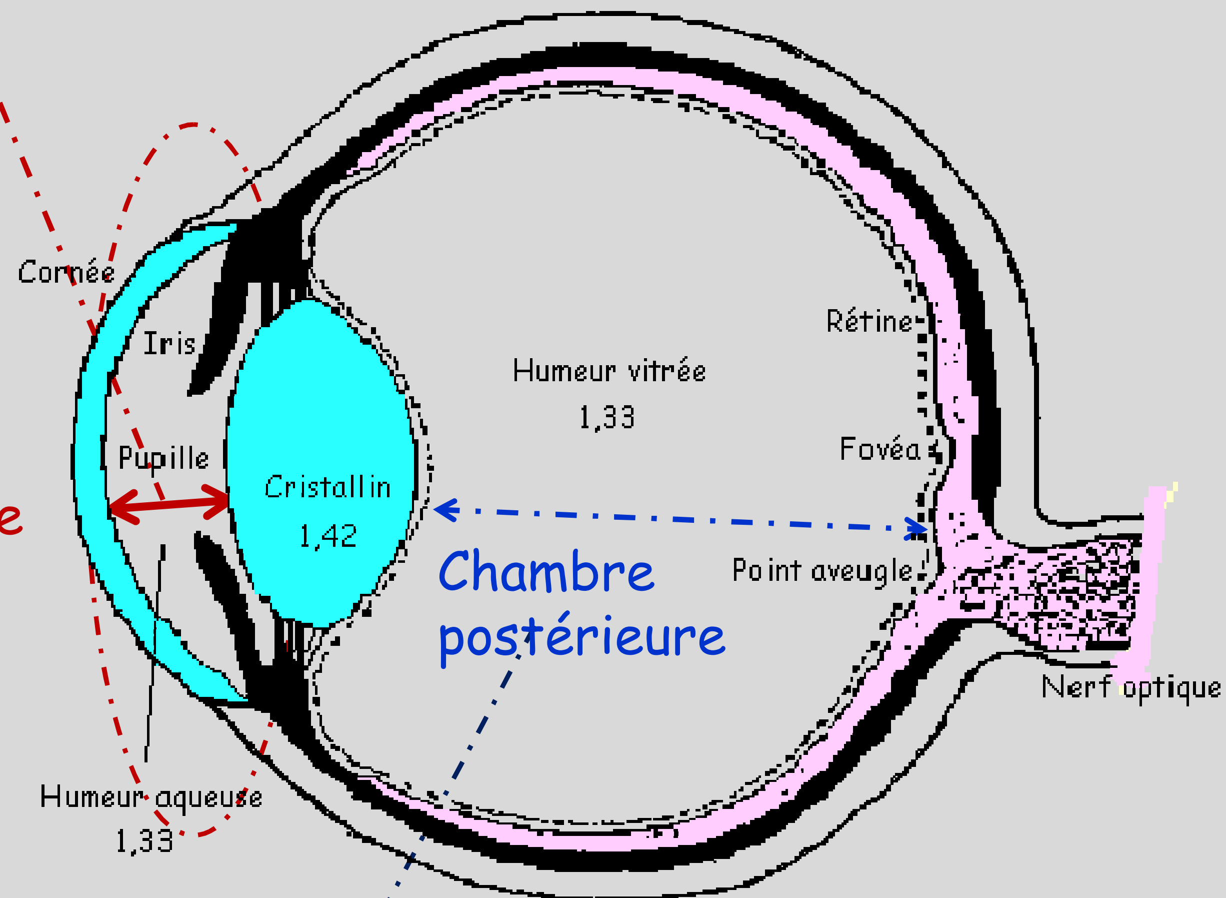


Le cristallin est une sorte de **lentille**, non homogène, épaisse de 4 mm environ, formée de **couches superposées capables de glisser les unes sur les autres**. Son **indice de réfraction** croît de **1,36** sur les bords à **1,42** sur l'axe. Sa distance focal **f'** est donc **variable**.

Les rayons de courbure sont respectivement **10mm** pour la face antérieure et **6 mm** seulement pour la face postérieure. Il est à mentionner que le **cristallin** possède un diamètre d'environ **10 mm**.

4 mm & n=1,336

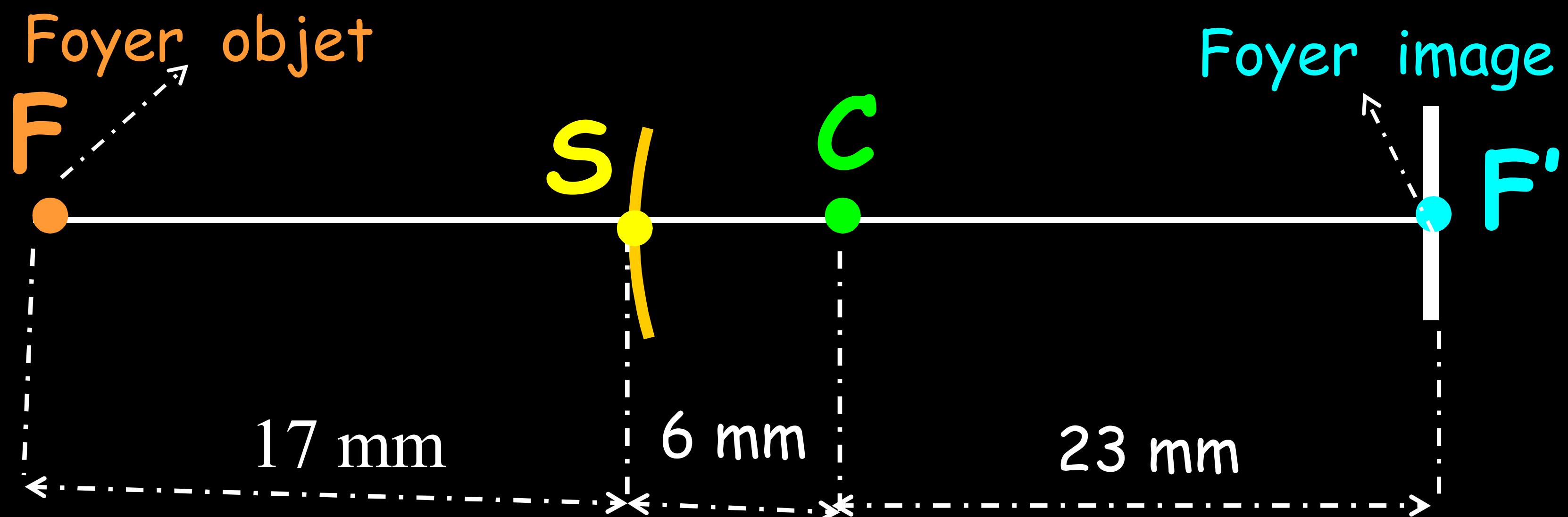
Chambre antérieure



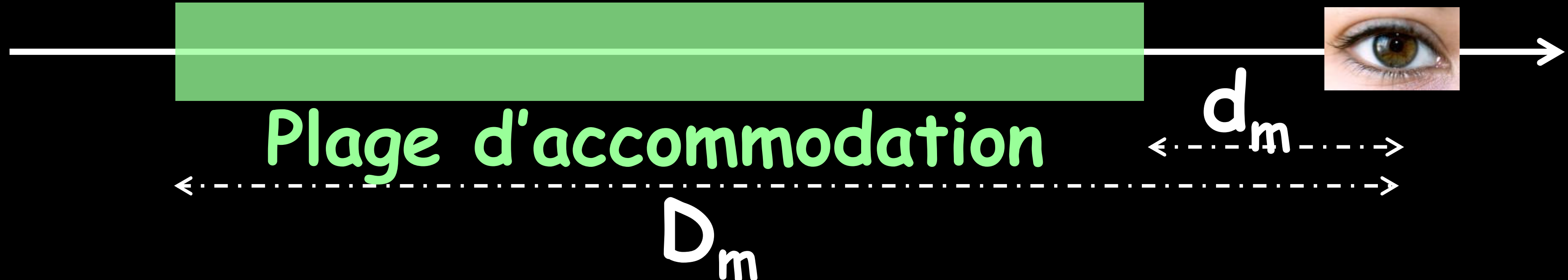
Taille de l'oeil normal : 25 mm

16 mm & n=1,330

Au point de vue optique, l'œil est équivalent à un **dioptre sphérique** de sommet **S**, de centre **C**, de **6 mm de rayon**, séparant **l'air d'indice 1 et le milieu d'indice 1,336** : ce dioptre est appelé **œil réduit**, représenté par le schéma :



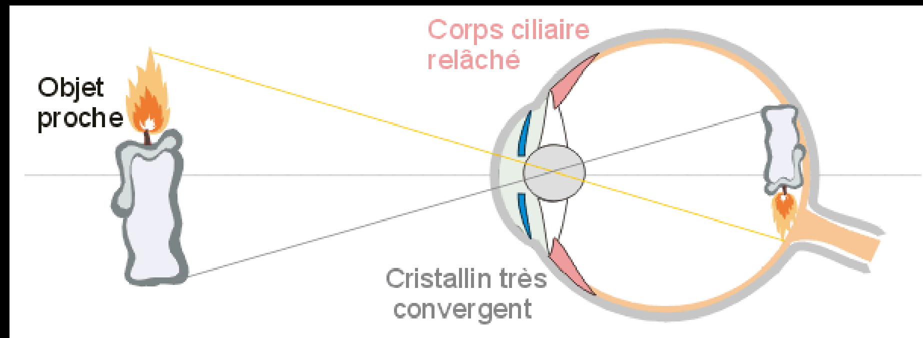
Pour un œil normal, l'image d'un objet d'abord très éloigné et puis rapproché de cet œil, se forme premièrement sur la rétine puis derrière la rétine et il cesse d'être vu nettement.



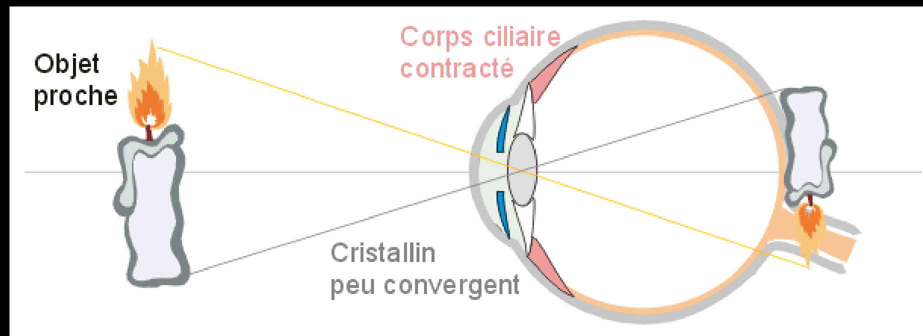
Or, on constate que **la vision reste bonne** : donc l'œil a subi une modification qui a pour effet de ramener sur la rétine l'image d'un objet rapproché : on dit que l'œil <u>accommode</u>.

L'accommodation se traduit par une augmentation de la vergence du cristallin grâce à un accroissement de la courbure des faces et peut-être à une variation d'indice.

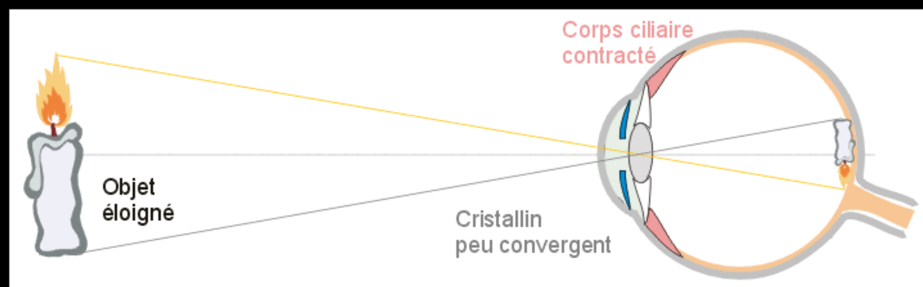
Ces déformations sont obtenues par pression des muscles de la zonule, principalement sur la face antérieure du cristallin ; cette action musculaire, si elle est prolongée, s'accompagne d'une fatigue.



repos

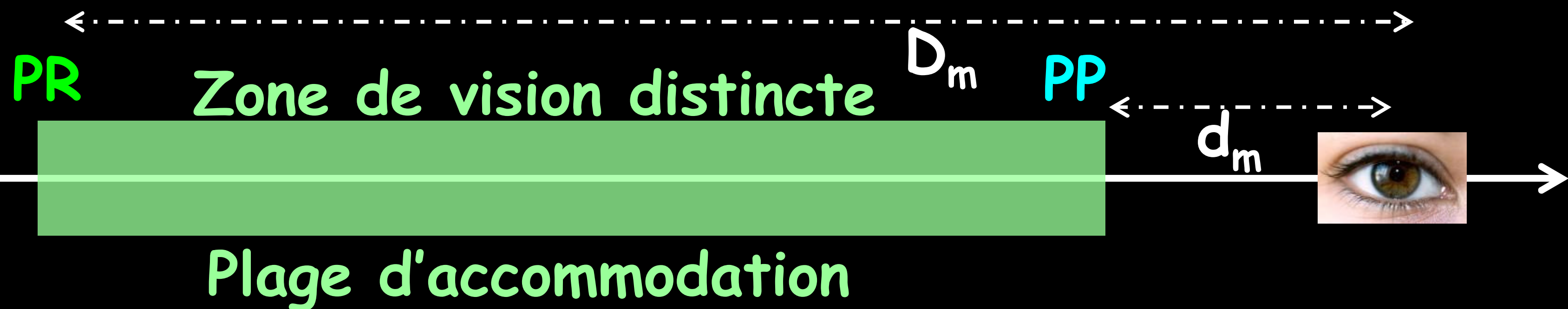


Objet Flou sans Accommodation



Objet net avec Accommodation

L'œil ne voit l'image nette que si celle-ci se forme sur la rétine.



La zone de vision distincte est limitée par:

1. Pucntum Proximum PP est le point le plus proche de l'œil.
2. Punctum Remotum PR est le point le plus éloigné de l'œil.

on peut définir le Punctum Proximum (PP) et le Punctum Remotum (PR) comme étant les points pour lesquels l'œil a sa **puissance** (**vergence**) maximale et minimale. Cette définition permet de fixer avec précision la position de PP et de PR.

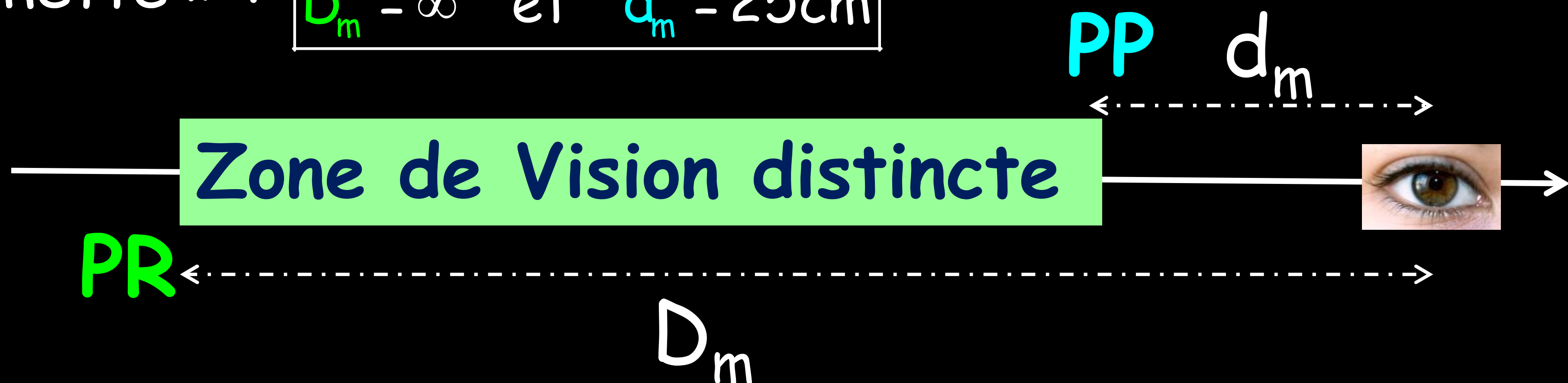
PP Punctum Proximum est situé à la **distance minimale d_m de** vision distincte. Cette distance d_m ne peut pas être définie avec précision, elle varie avec l'âge ; pour un œil normal, elle est de l'ordre de 15 cm à 20 ans.

L'œil au repos, voit nettement à une distance maximale D_m correspondant au Punctum Remotum, noté PR.



En accommodant, l'œil augmente sa vergence, ce qui rapproche le plan de mise au point ; le cristallin est alors bombé. Le Punctum Proximum PP correspond donc à la vergence V maximale et à la distance minimale d_m de vision distincte. En revanche, le Punctum Remotum PR, correspond à la vergence minimale. du cristallin et à la distance maximale D_m de vision distincte.

Pour un œil normal d'adulte, le domaine de « vision nette » : $D_m = \infty$ et $d_m = 25cm$



Principaux défauts de l'oeil

Principaux défauts de l'œil

L'œil normal

PP d_m

Zone de Vision distincte

PR

D_m

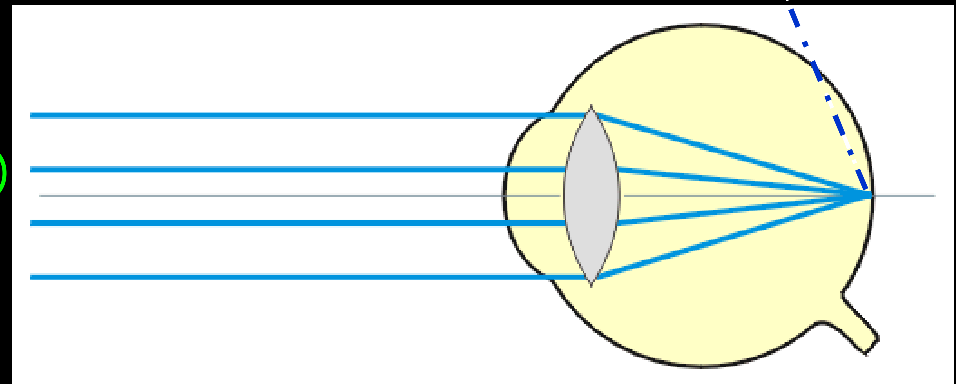
Nous considérons comme **normal un œil** qui, en l'absence d'accommodation, donne d'un objet à l'infini une image sur la rétine. Le point le plus éloigné qu'il peut voir ou Punctum Remotum PR est à l'infini.

L'œil normal est dit **emmétrope**.

rétine

$D_m = \infty$ et $d_m = 25cm$

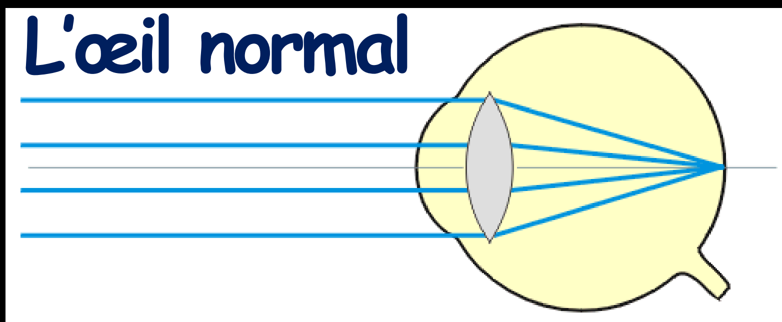
∞

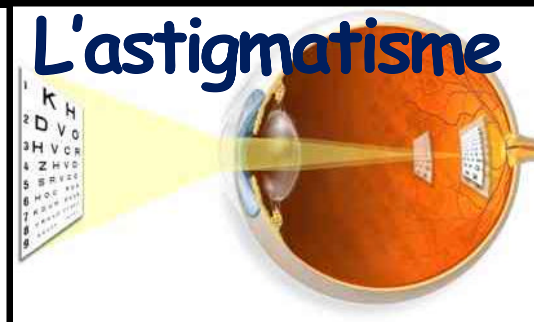


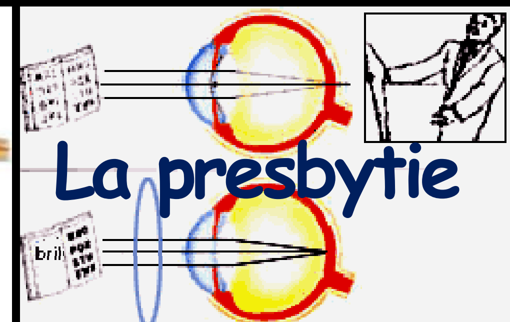
Si, un œil étant au repos, l'image d'un point à l'infini se forme en **avant** ou **en arrière** de la rétine, l'œil est dit **anormal** ou **amétrope**.

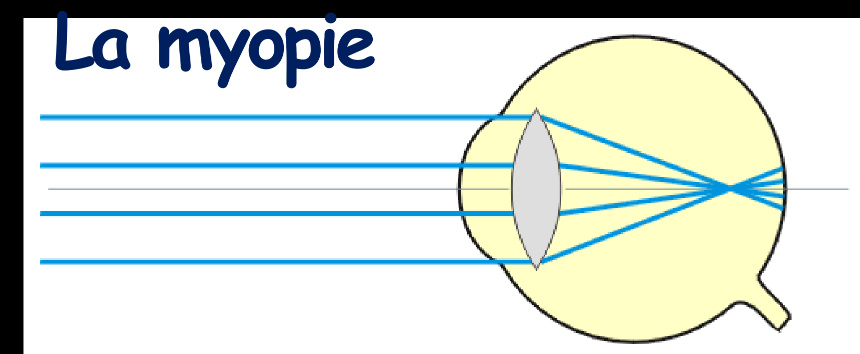
Les défauts d'accommodation les plus répandus sont la **myopie**, **l'hypermétropie** et l'**astigmatisme**.

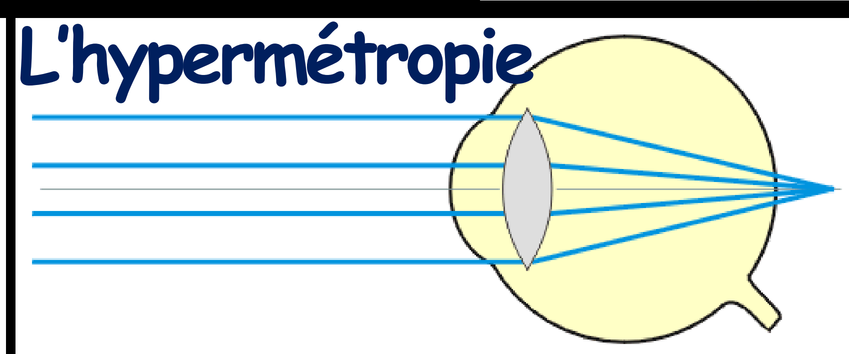
la presbytie est due au vieillissement du cristallin.





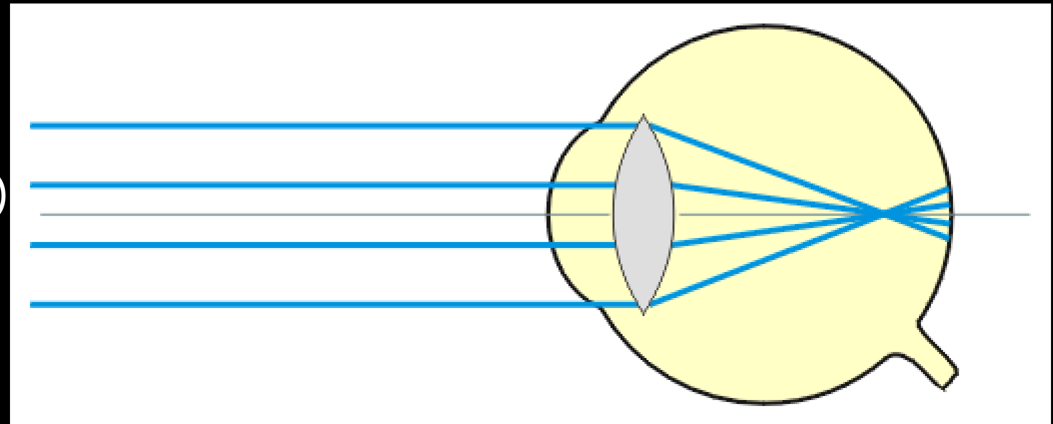






L'œil myope

∞



Un œil myope est trop convergent. Un œil est donc myope quand F', son plan focal image, est en avant de la rétine. L'œil myope est donc trop profond pour sa convergence, si l'on admet que tous les yeux ont sensiblement la même puissance.

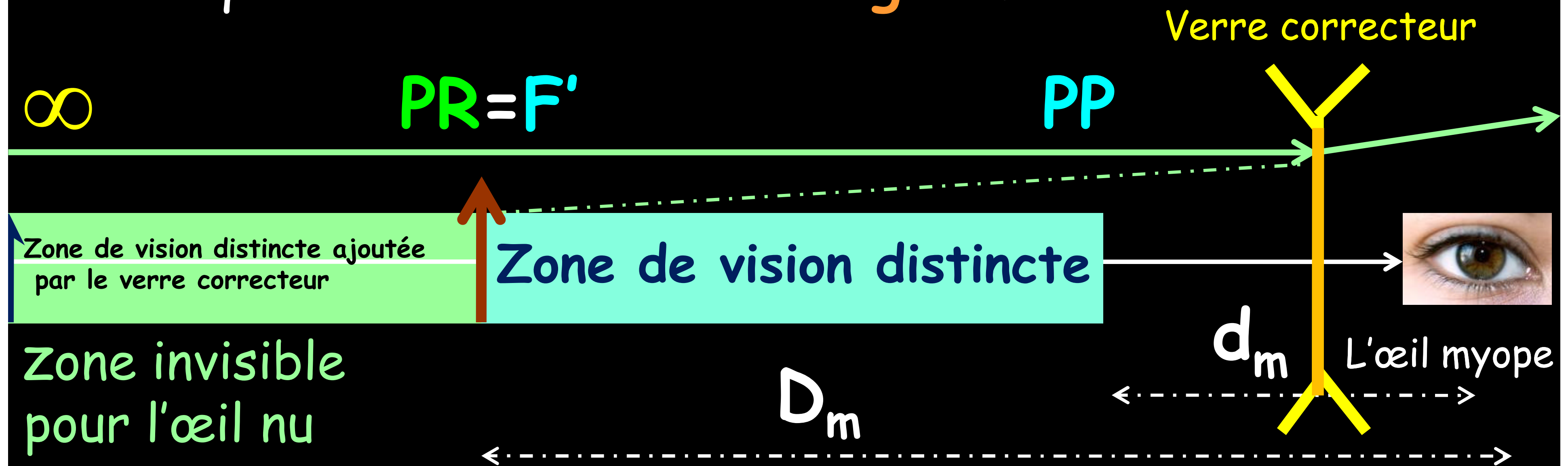
Au repos il ne peut pas voir un objet à l'infini, l'accommodation ne ferait qu'aggraver le défaut.
Si l'objet se rapproche, l'image se rapproche de la rétine et se forme sur elle, toujours en l'absence d'accommodation, quand l'objet atteint le Punctum Remotum (une dizaine de cm) de cet œil myope.

L'œil myope accommode pour voir les objets les plus rapprochés et atteint la limite au Punctum Proximum. Comme son Punctum Reotum n'est pas à l'infini, il est très proche de l'œil (une dizaine de cm). Sa zone de vision distincte est alors très réduite.



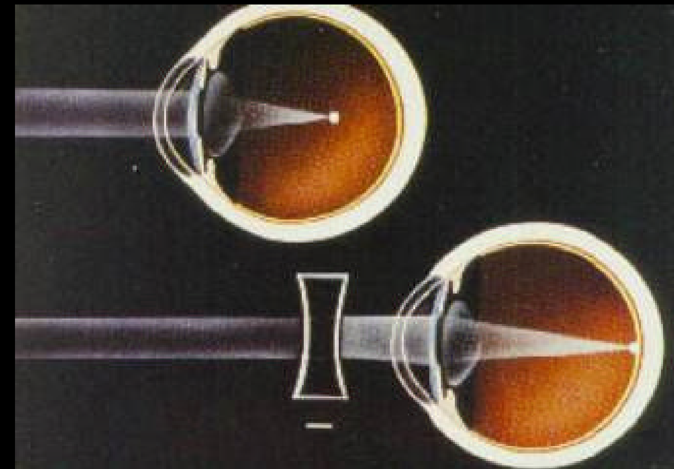
Comment élargir la zone de vision distincte de ce myope ?

Pour **augmenter** cette zone de vision distincte de ce myope, on utilise un **verre correcteur** dont le **foyer principal image F'** coïncide avec son **PR**, par conséquent le verre est **divergent**.



$$\infty \xrightarrow{\text{Verre correcteur}} PR \Rightarrow \underbrace{\frac{1}{\overline{OPR}}}_{\text{image}} - \underbrace{\frac{1}{\infty}}_{\text{objet}} = \underbrace{\frac{1}{f'}}_{\text{lentille}}$$

La myopie se corrige en plaçant devant l'œil une lunette divergente de distance focale le PR de cet œil myope : $f' = PR$



PR

PP < 20 cm

Zone de vision distincte très réduite(œil myope nu)

$\infty \leftarrow$ PR

PP

Zone de vision distincte agrandie (œil myope + lunette divergente)

Remarque : Pour observer un objet situé avant le Ponctum Proximum (PP) le myope a intérêt a retiré ses **lunettes** : accommodation moindre sans verres correcteurs.

$$\frac{1}{PP}-\frac{1}{PP'}=\frac{1}{f'}=\frac{1}{PR}\Rightarrow \boxed{PP'=NPP=\frac{PR.PP}{-PP+PR}=\frac{f'.PP}{-PP+f'}}$$

Position du nouveau NPP

∞ —— Verre correcteur ——> **PR**

∞ **PR** **NPP** **PP**

Nouvelle zone de vision distincte | Éloignement du PP



D_m d_m

$PP=-25cm \quad PR=-100cm \Rightarrow NPP=-33cm \quad NPR=\infty$

$$PP \xrightarrow[\text{correcteur}]{\text{verre}} (PP)' \qquad \frac{1}{d_m'} - \frac{1}{d_m} = V, \qquad \frac{1}{D'} - \frac{1}{D} = V$$

$$PR \xrightarrow[\text{correcteur}]{\text{verre}} (PR)'$$

d'ou

$$\boxed{\frac{1}{D} - \frac{1}{d_m} = \frac{1}{D'} - \frac{1}{d_m'} = A}$$

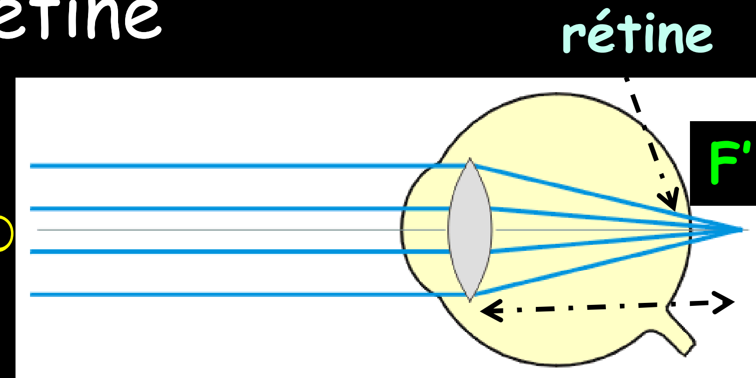
L'amplitude dioptrique A mesure la vergence du verre qui donnerait du PP une image située au PR.

Ce résultat n'est valable qu'en cas où le verre correcteur est placé tout contre l'œil.

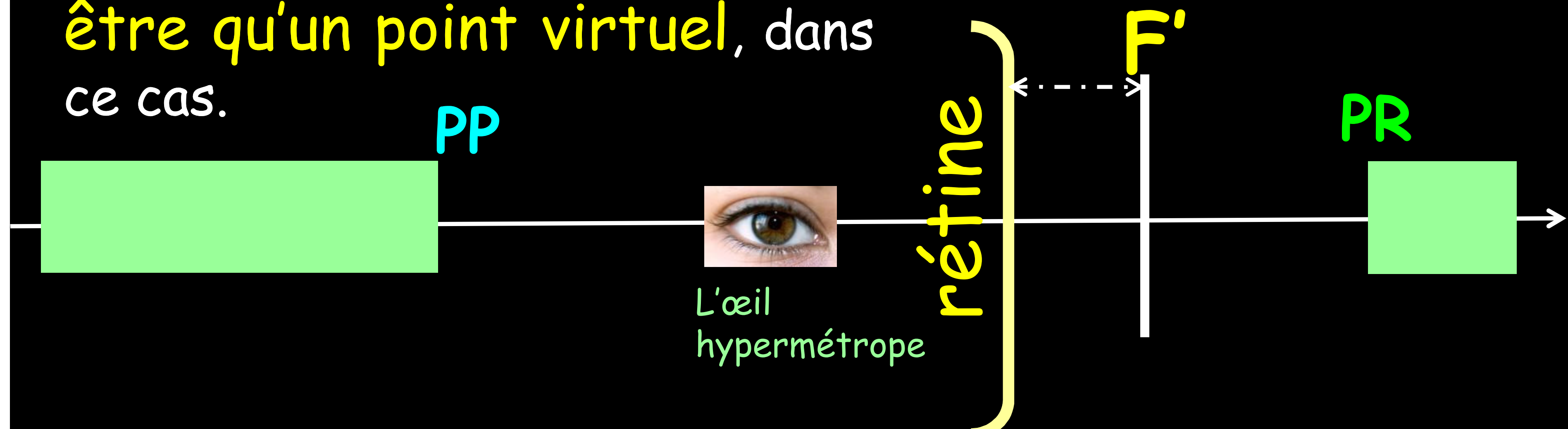
Il y a conservation de l'amplitude dioptrique pour un œil auquel on adjoint un verre de vergence V.

L'œil **hypermétrope** est trop court pour sa convergence, c'est-à-dire il n'est pas assez convergent. L'image **F'** d'un point situé à l'infini est alors placée derrière la rétine

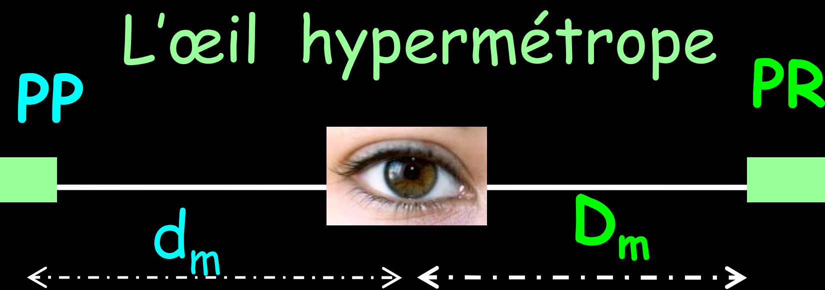
Le foyer image F' de cet œil hypermétrope au repos, est en arrière de la rétine et comme le conjugué du **PR** doit être sur la rétine de l'œil non accommodé, donc en avant de F', **PR** ne peut être qu'un point virtuel, dans ce cas.



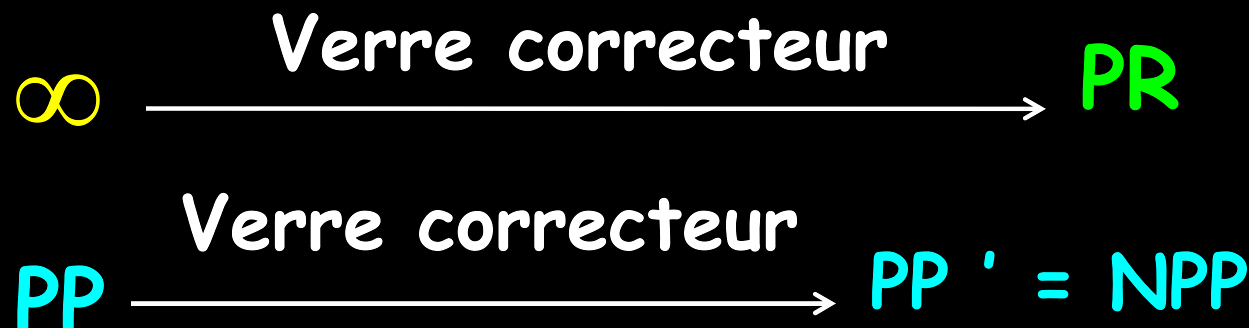
L'œil hypermétrope

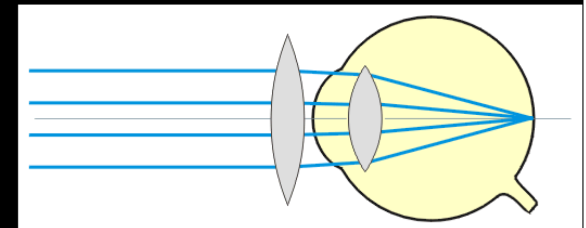


L'œil hypermétrope



Il faut accommoder pour voir les **objets virtuels** situés en arrière de **PR** et les points réels situés en avant du **PP**, lequel est plus loin que dans le cas de l'œil normal. Sa distance minimale d_m peut être égal à 50 cm ou plus. L'hypermétropie se corrige en plaçant devant l'œil une lunette convergente.



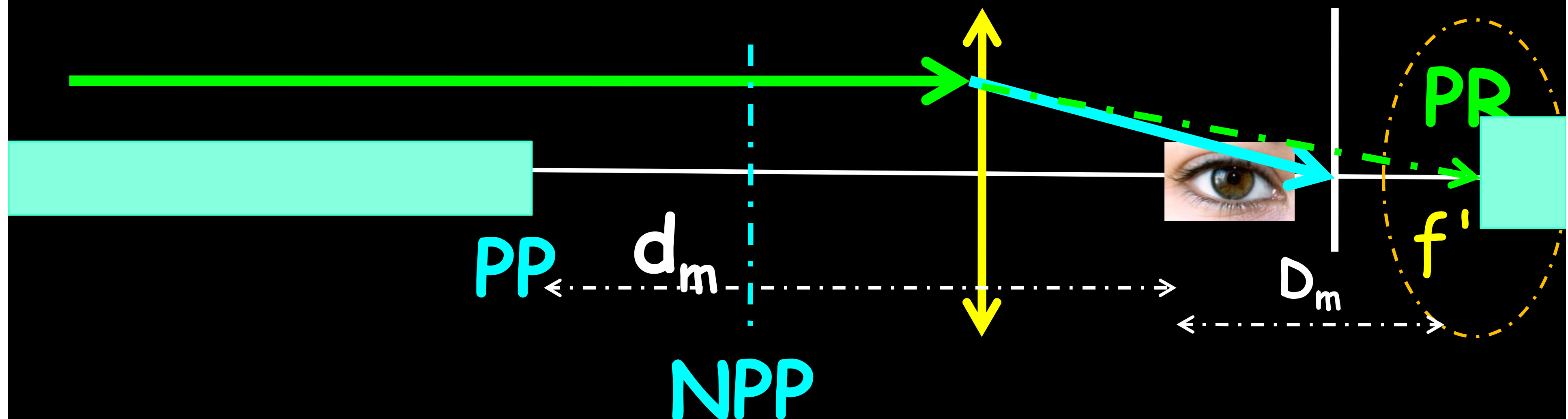


Pour un œil hypermétrope, le verre correcteur est convergent, V > 0, il doit augmenter la faible convergence de cet œil .

$$\frac{1}{PP} - \frac{1}{PP'} = \frac{1}{f'} = \frac{1}{PR}$$

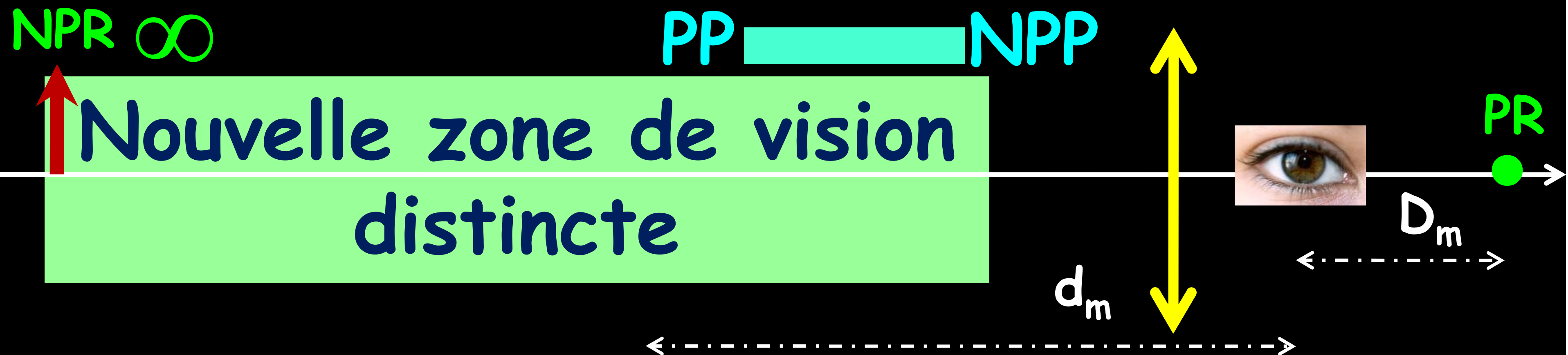
∞ —Verre correcteur→ PR

PP —Verre correcteur→ PP ' = NPP



Exemple

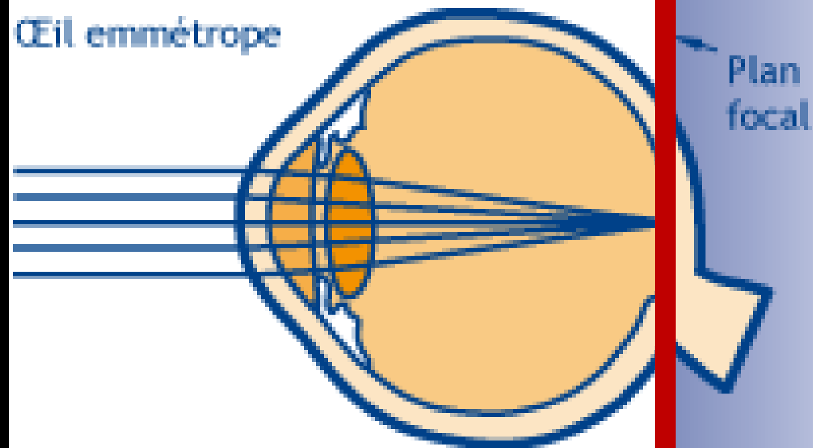
PP = -70cm PR = 20cm $\Rightarrow$ NPP = -14cm NPR = ∞



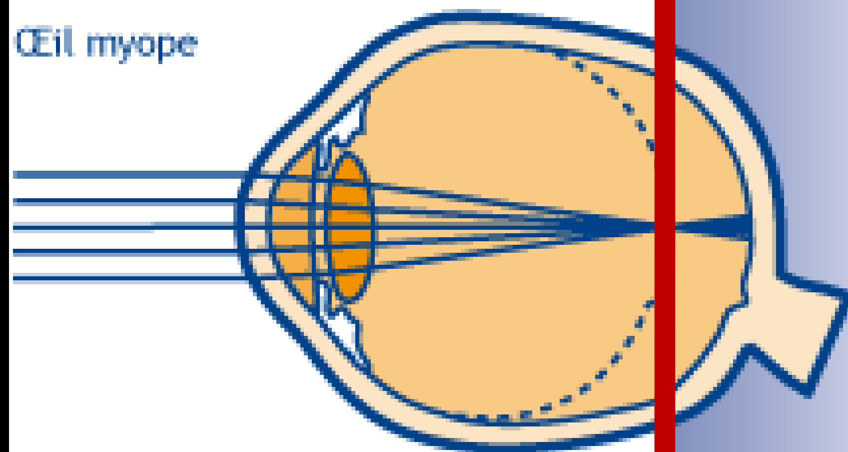
$$\frac{1}{PP} - \frac{1}{PP'} = \frac{1}{PR} \Rightarrow PP' = NPP = \frac{PR.PP}{-PP + PR}$$

PP $\xrightarrow{\text{Verre correcteur}}$ PP'= NPP

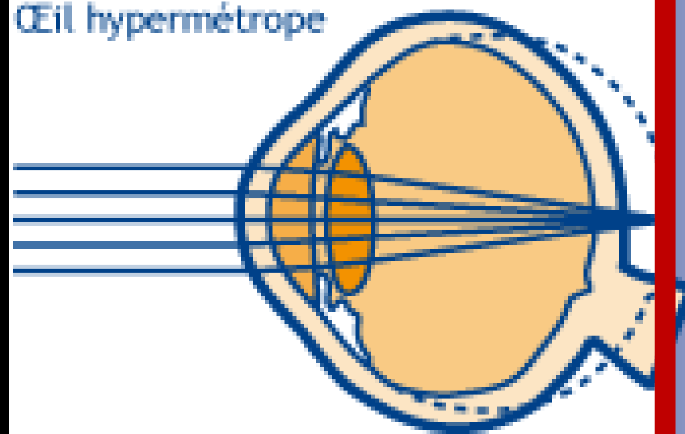
l'œil normal



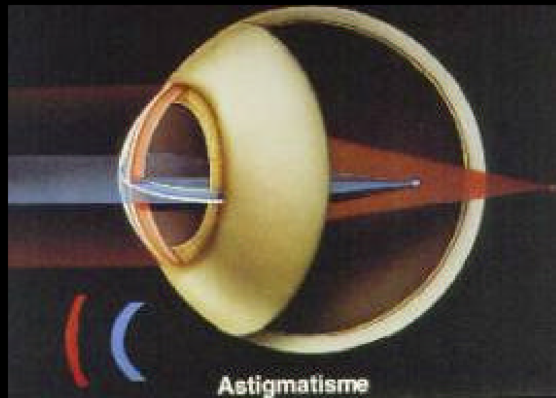
L'œil myope

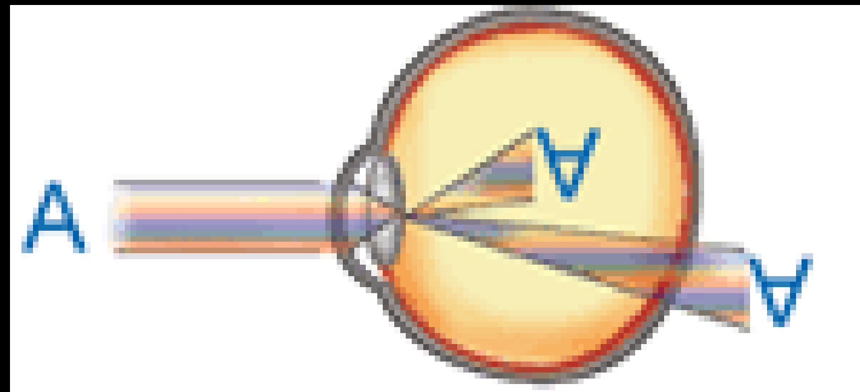


L'œil hypermétrope



Astigmatisme : Il y a astigmatisme de l'œil lorsque celui-ci ne possède pas la symétrie de révolution. On corrige ce défaut à l'aide de verres non sphériques.

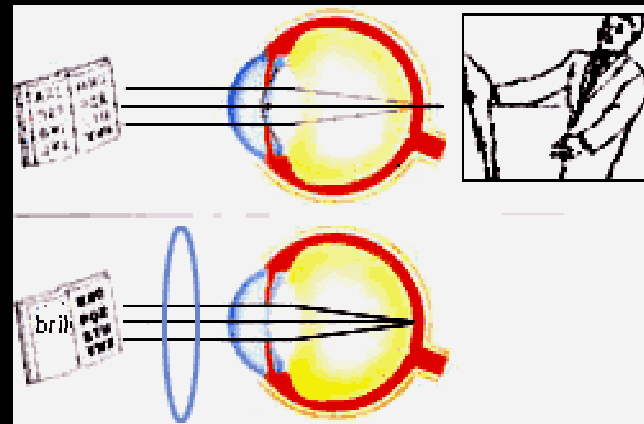






Presbytie : La faculté d'accommodation, liée à un effort musculaire, **diminue avec l'âge** : le **PP** s'éloigne progressivement de l'œil, le **PR** restant à peu près fixe.

L'amplitude dioptrique A diminue et, pour un **œil emmétrope**, passe d'une dizaine de dioptries, à 20 ans, à 1 dioptrie vers 60 ans. On dit que l'œil devient **presbyte**.



La presbytie est alors la diminution de la faculté d'accommodation due au vieillissement de l'œil.

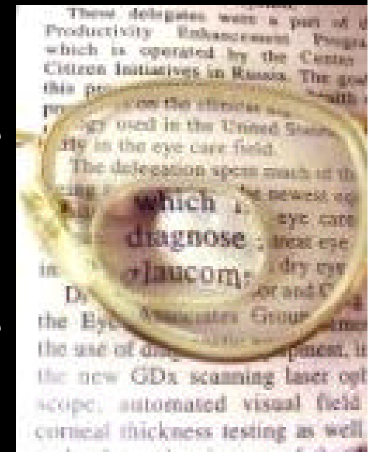
Un œil normal, devenu presbyte, voit encore nettement les objets éloignés, mais pour voir de près, pour lire par exemple, il doit compenser l'insuffisance de l'accommodation par l'emploi de lunettes munies de lunettes convergentes.

Puisque le Punctum Proximum s'éloigne, la **puissance maximale** de l'œil **diminue** et l'on atténue la presbytie en adjoignant à l'œil, **un verre convergent**. Il s'ensuit un **rapprochement** du Punctum Remotum et en définitive l'amplitude de l'œil armé reste celle de l'œil nu.

Bien entendu, un observateur à une **vue normale** devenu **presbyte** quitte ses lunettes pour regarder les objets éloignés qu'il continue à voir sans accommodation.

Étant donné son origine, **la presbytie** peut affecter toutes **les vues**, si bien qu'un **myope presbyte** doit utiliser **deux verres correcteurs** :

- **L'un divergent**, pour la vision des objets éloignés, corrige la **myopie**,
- L'autre, **convergent**, pour la vision d'objets proches, réduit la **presbytie**.



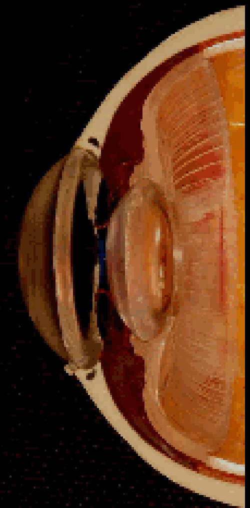
On remplace souvent ces deux verres par un seul « à double foyer » :

- La partie supérieure est utilisée pour la vision éloignée,
- Celle du bas, destinée à la lecture, est rendue plus convergente par soudure d'une pastille de verre.

La cataracte est un épaississement des tissus du **cristallin** entraînant d'abord **une vision trouble**, puis peu à peu **la cécité**. On est alors conduit à enlever le **cristallin**, ce qui diminue la convergence de l'œil d'une douzaine de dioptries.

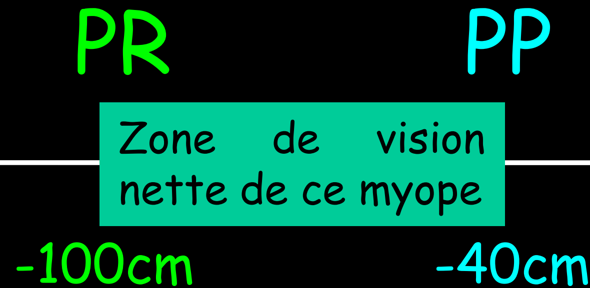






On atténue ces diminutions physiques par l'emploi des verres fortement convergents ou de verres de contact.

Exercice 19 :
L'œil myope-presbyte



1) Une lentille divergente de distance focale $f'_c = PR = -100cm$
et de vergence $V_c = \frac{1}{f'_c} = \frac{1}{-100.10^{-2}} = -1\delta$

2) $NPP \xrightarrow{\mathcal{L}_C} PP \Rightarrow \frac{1}{PP} - \frac{1}{NPP} = \frac{1}{f'_c} \Longrightarrow$

$$NPP = \frac{PP.f'_c}{f'_c - PP}$$

A.N. : $NPP = -66,67cm$

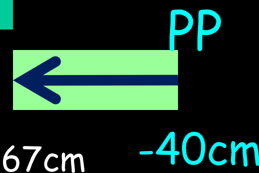
$NPR \to \infty$

NPP = -66,67cm

Verre correcteur
$f'_c = -100cm$ & $V_c = -1\delta$

Zone de vision distincte œil + lunette





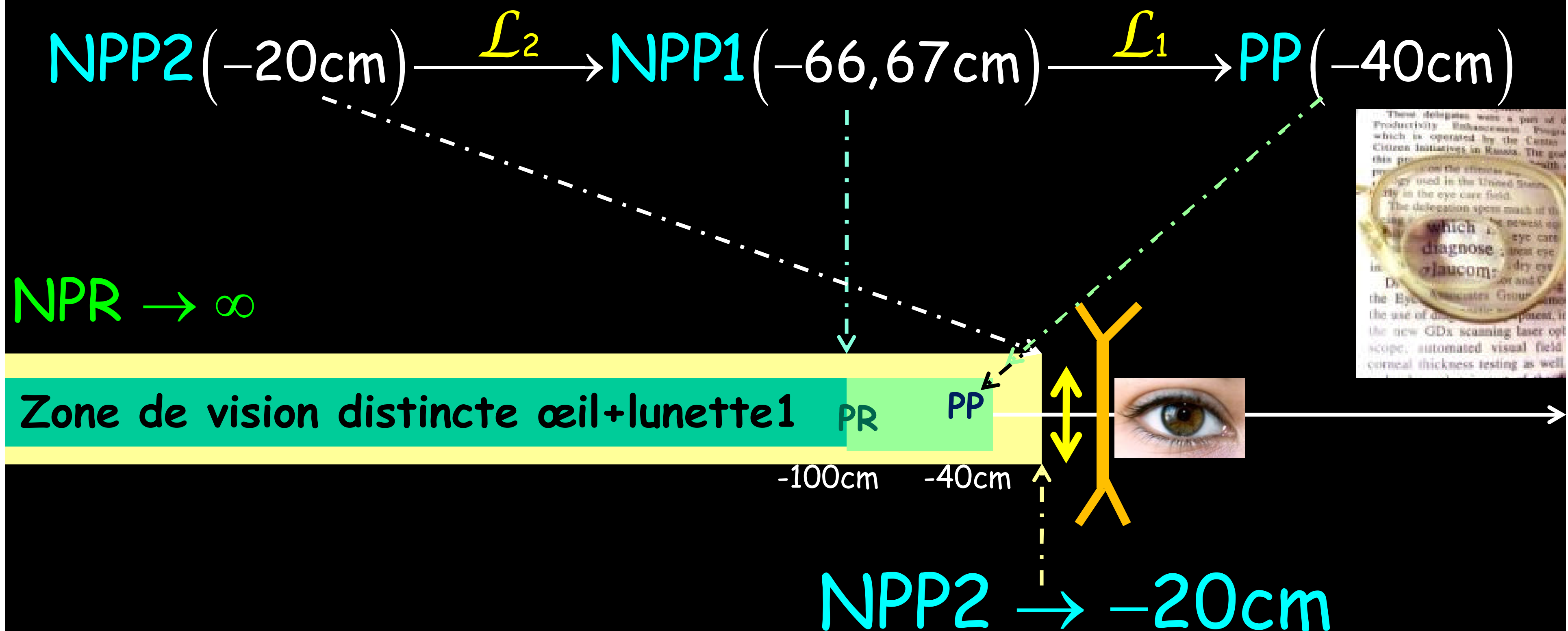
NPP = -66,67cm

-40cm

3) Pour améliorer la vision rapprochée à l'aide des mêmes lunettes de correction $\mathcal{L}_{C1}$, on accole une seconde lentille $\mathcal{L}_{c2}$ convergente afin d'avoir la distance minimale dm de la vision distance de l'œil corrigé soit ramenée à 20 cm.

$$V_2 = 3,5\delta \;\&\; f_c' = 28,6\text{cm}$$

$$V = V_1 + V_2 \Rightarrow V_2 = V - V_1 = 2,5 - (-1) = 3,5\delta$$



4)

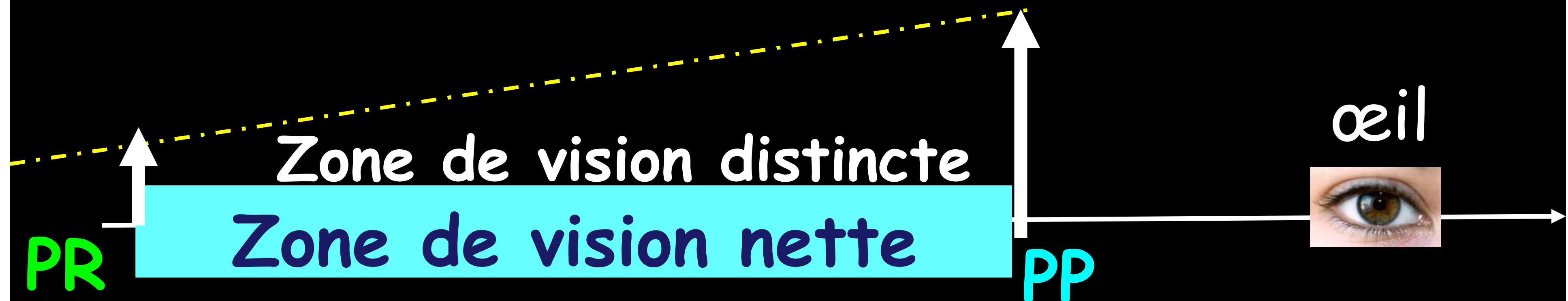
La seconde lentille $\mathcal{L}_{c2}$ est supposée biconvexe de rayons R_1 et R_2 tel que : $R_1 = - R_2$. Sa vergence s'exprime comme suit :

$$V = (n-1).\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right) = (n-1).\left(\frac{2}{R_2}\right)$$

$$\Rightarrow \boxed{R_2 = 2.\frac{(n-1)}{V} = 2.\frac{(1,5-1)}{3,5} = 28,6\text{cm}}$$

Fin de l'exercice n°19

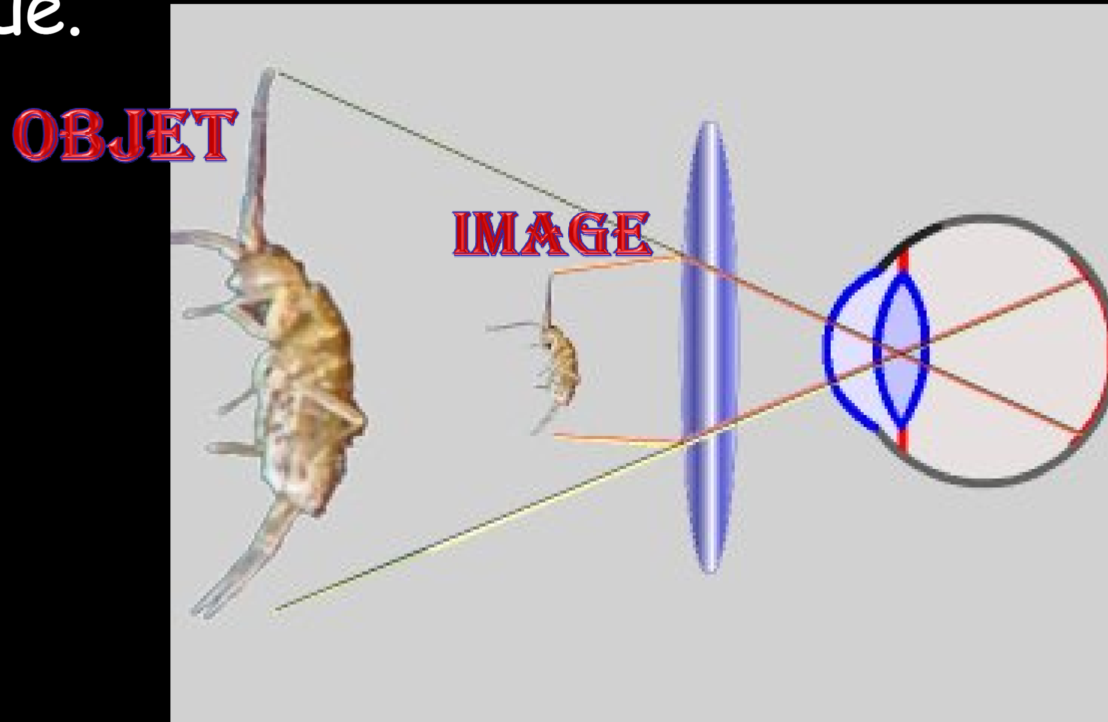
LA LOUPE



Un objet rapproché est vu par l'œil sous le plus grand diamètre apparent quand il est placé au Punctum Proximum PP. Cette position impose en même temps l'accommodation maximale (**vergence maximale**).

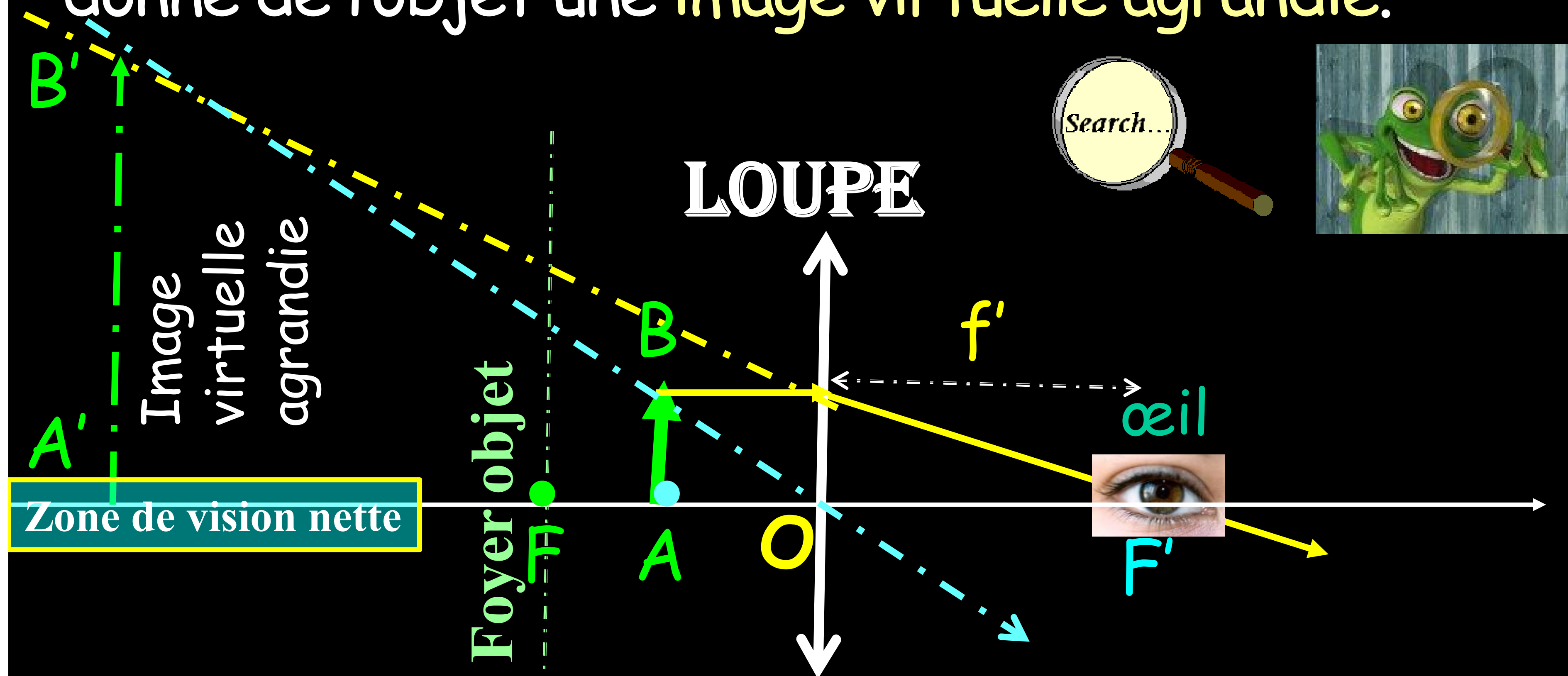
A cet égard, **l'œil myope** manifeste une supériorité sur les autres yeux.

Pour réduire ou même supprimer cette **accommodation**, on substitue à la **vision directe** de l'objet celle de l'image qu'en donne un système optique.



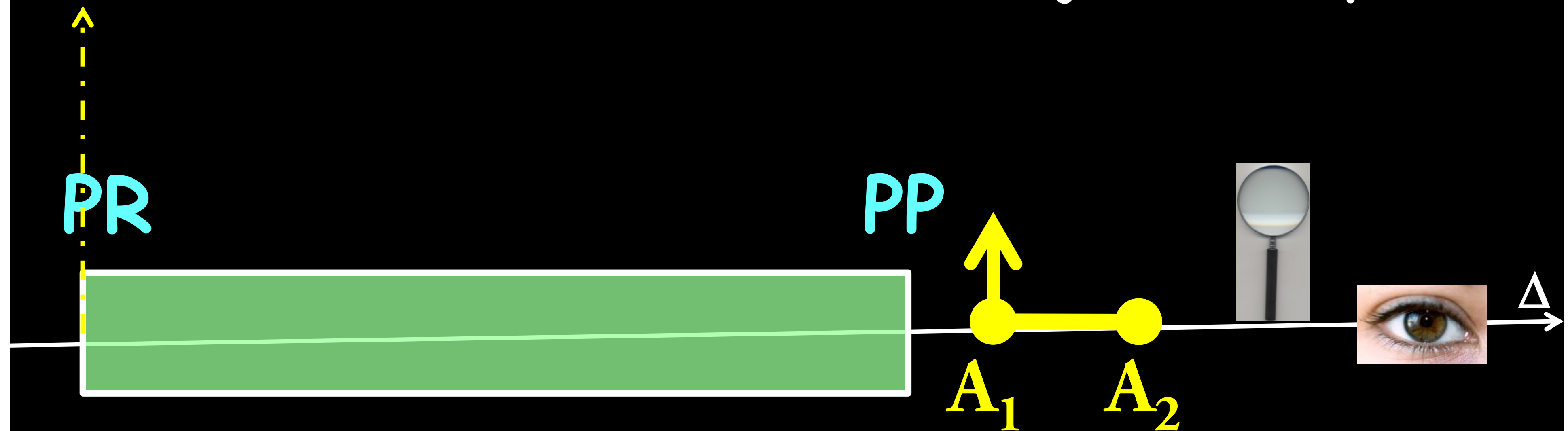
Pour éliminer **l'encombrement**, l'image est formée loin de l'œil et de préférence au <u>**P**unctum **R**emotum</u>, son **diamètre apparent** devant être aussi grand que possible.

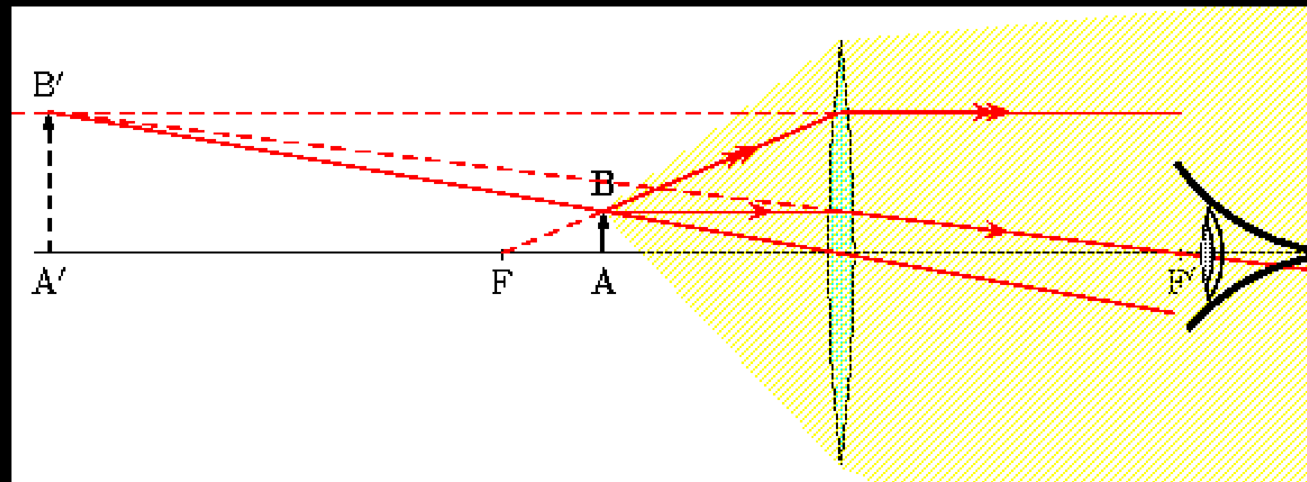
Une **Loupe** est une lentille épaisse convergente de courte distance focale f ', comprise entre **2** et **10 cm**, utilisée par un œil myope ou emmétrope, donne de l'objet une image virtuelle agrandie.



L'objet à examiner étant placé entre la loupe et son plan focal objet **F**, l'image est virtuelle et grande.

La **mise au point** consiste à amener l'image virtuelle **A'B'** entre les **deux punctums** (**PP** et **PR**) de **vision distincte de l'œil**, en modifiant la **distance** de **l'objet à la loupe**.

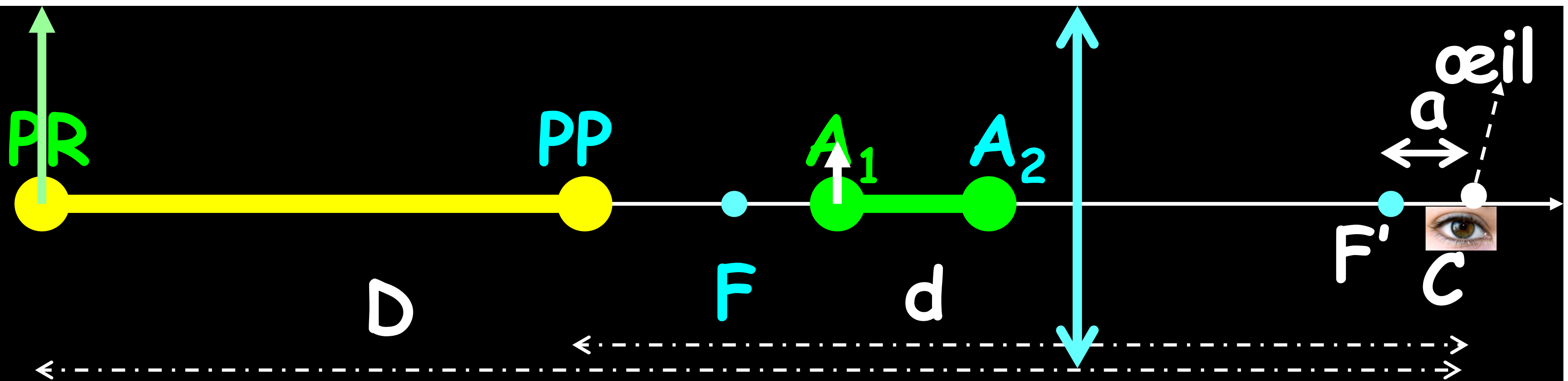




La latitude ℓ de mise au point est alors la distance des positions extrêmes A_1 et A_2 entre lesquelles doit se trouver l'objet pour que son image soit bien visible par l'observateur, donc cette image doit être placée entre les deux Punctums (**P**roximum et **R**emotum).

les deux positions extrêmes A_1 et A_2, comme l'indique la figure précédente, sont conjugués des punctums **PR** et **PP** respectivement.

La mesure algébrique $\overline{A_1A_2}$ est la latitude ℓ d'accommodation de l'œil armé de la loupe.



où D et d sont les distances maximale et minimale de vision distincte de l'observateur.

$$\overline{F'C} = a$$

A_1 a pour image PR

A_1 —— loupe $\overline{OF'} = f'$ ——→ PR=R

Relation de Descartes

$$\frac{1}{\overline{OR}} - \frac{1}{\overline{OA_1}} = \frac{1}{f'}$$

A_2 a pour image PP

A_2 ——→ PP=P

$$\frac{1}{\overline{OP}} - \frac{1}{\overline{OA_2}} = \frac{1}{f'}$$

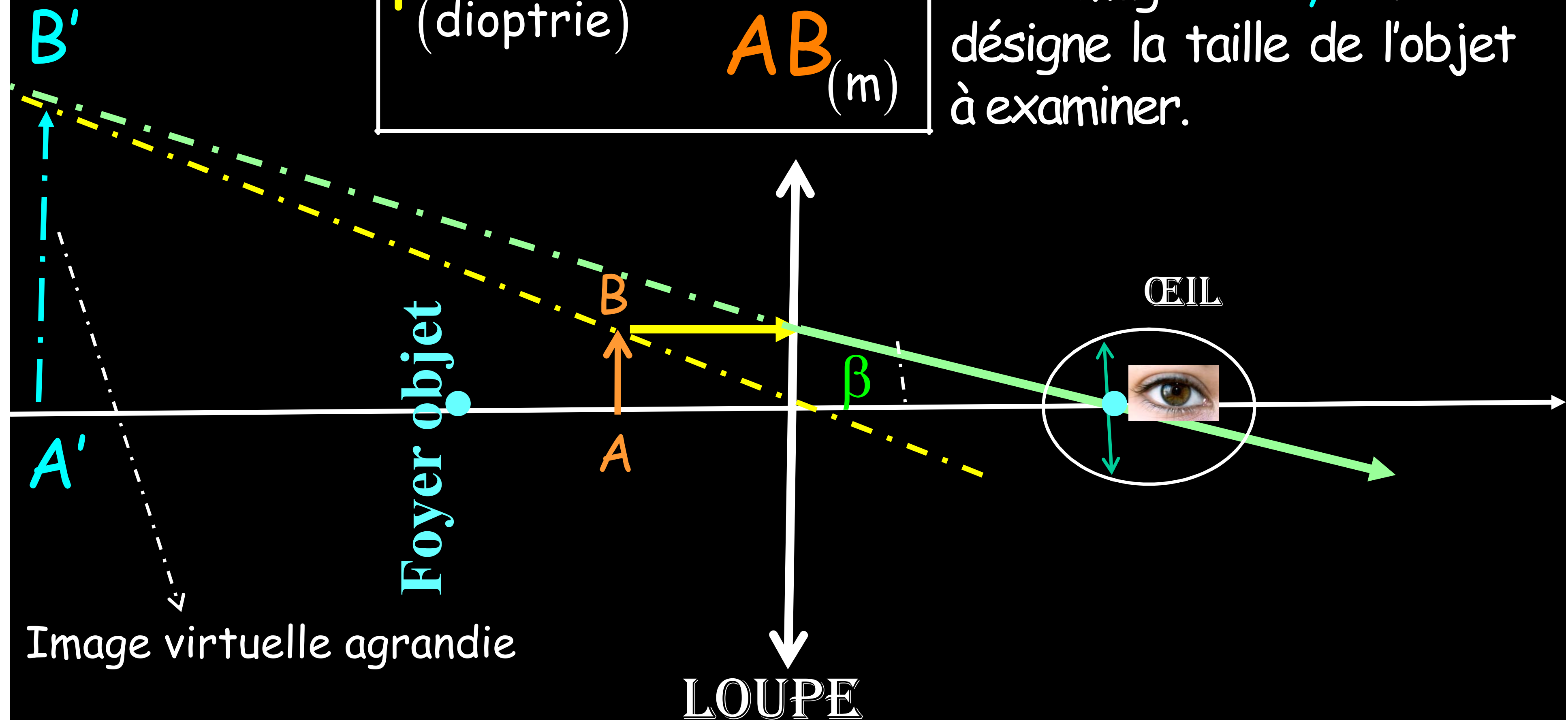
$$\overline{A_1A_2} = \overline{A_1O} + \overline{OA_2} = \overline{OA_2} - \overline{OA_1} = \text{latitude } \ell$$

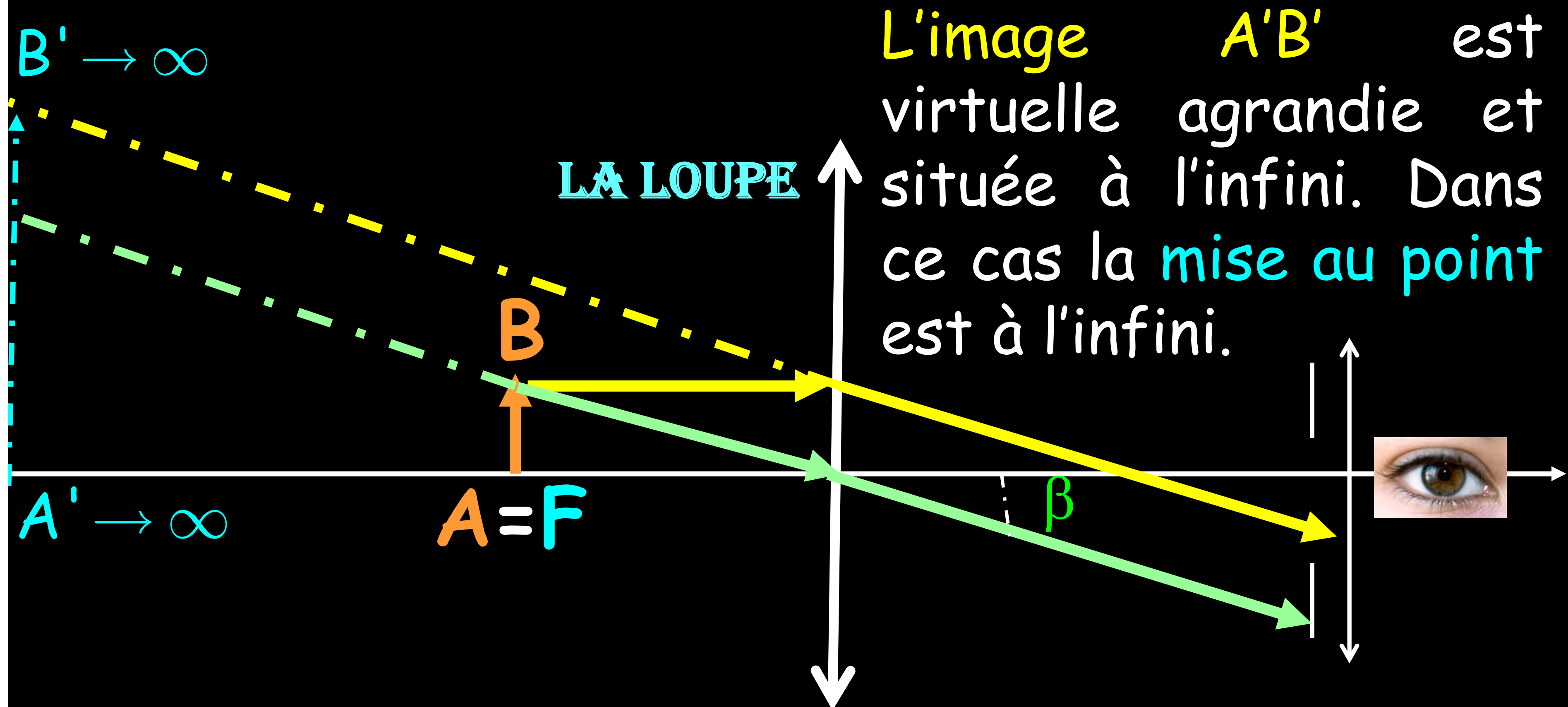
La puissance d'une loupe

l'efficacité de la loupe est caractérisée par l'angle β sous lequel est vue l'image A'B' observée. La puissance P d'une loupe est définie comme suit :

$$P_{(dioptrie)} = \frac{\beta_{(rd)}}{AB_{(m)}}$$

β est le diamètre apparent de l'image A'B', et AB désigne la taille de l'objet à examiner.





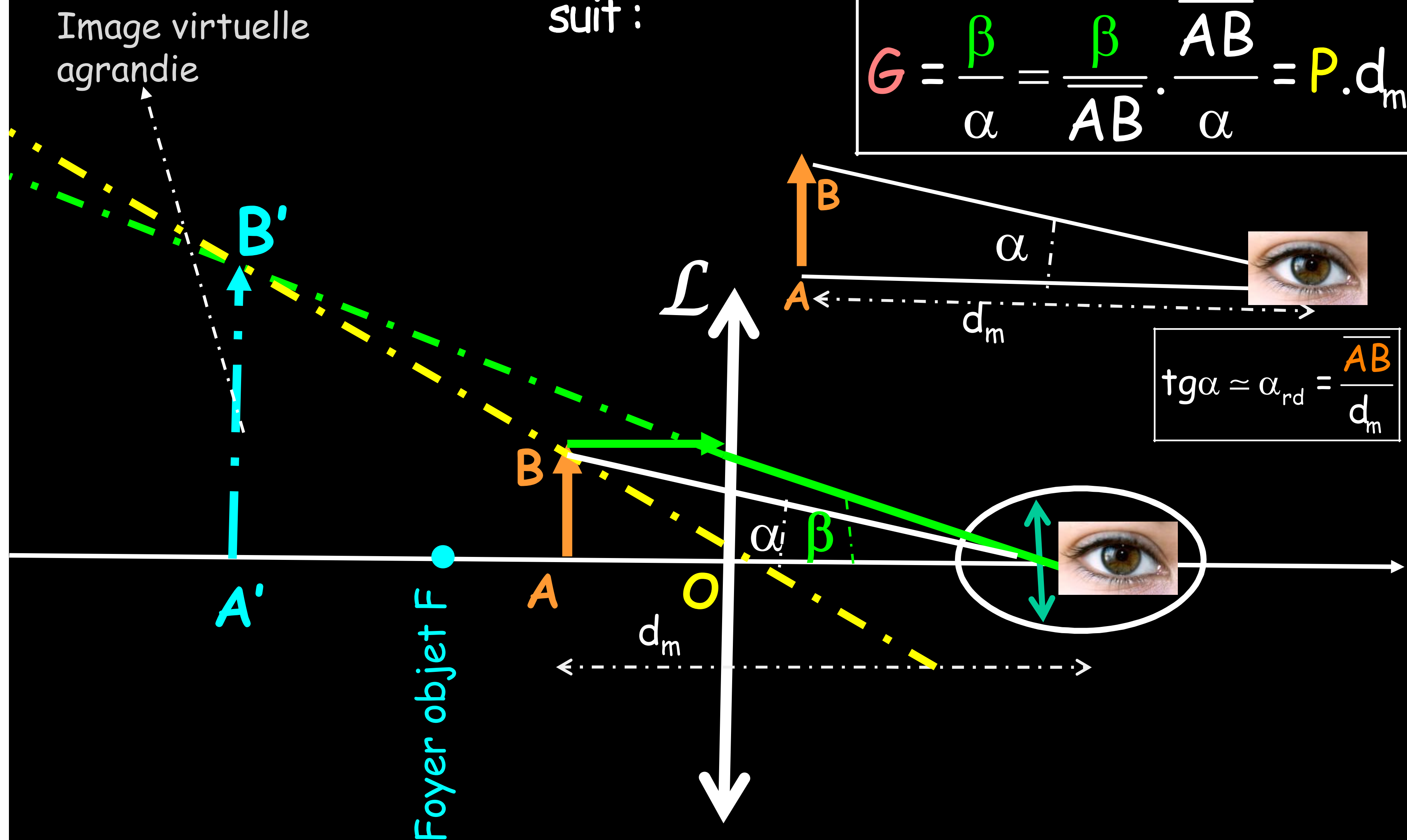
<u>Remarque</u> : Quand l'objet est placé dans le plan focal objet F, son image est formée à l'infini. Dans ce cas, son diamètre β est exprimé comme suit :

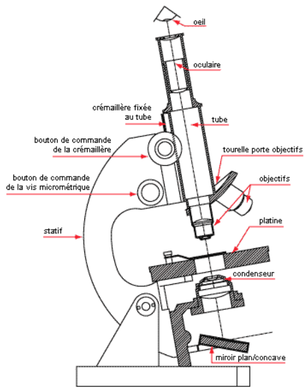
$$\beta = \frac{\overline{AB}}{\overline{OF}} = \frac{\overline{AB}}{f'}, \quad \text{d'ou} \quad P = \frac{\beta}{\overline{AB}} = \frac{1}{f'} = V = \text{Vergence}$$

Grossissement

β est le diamètre apparent de l'image A'B', et α est le diamètre apparent de l'objet AB. Le **grossissement** G est défini comme suit :

$$G = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\beta}{\overline{AB}} \cdot \frac{\overline{AB}}{\alpha} = P.d_m$$







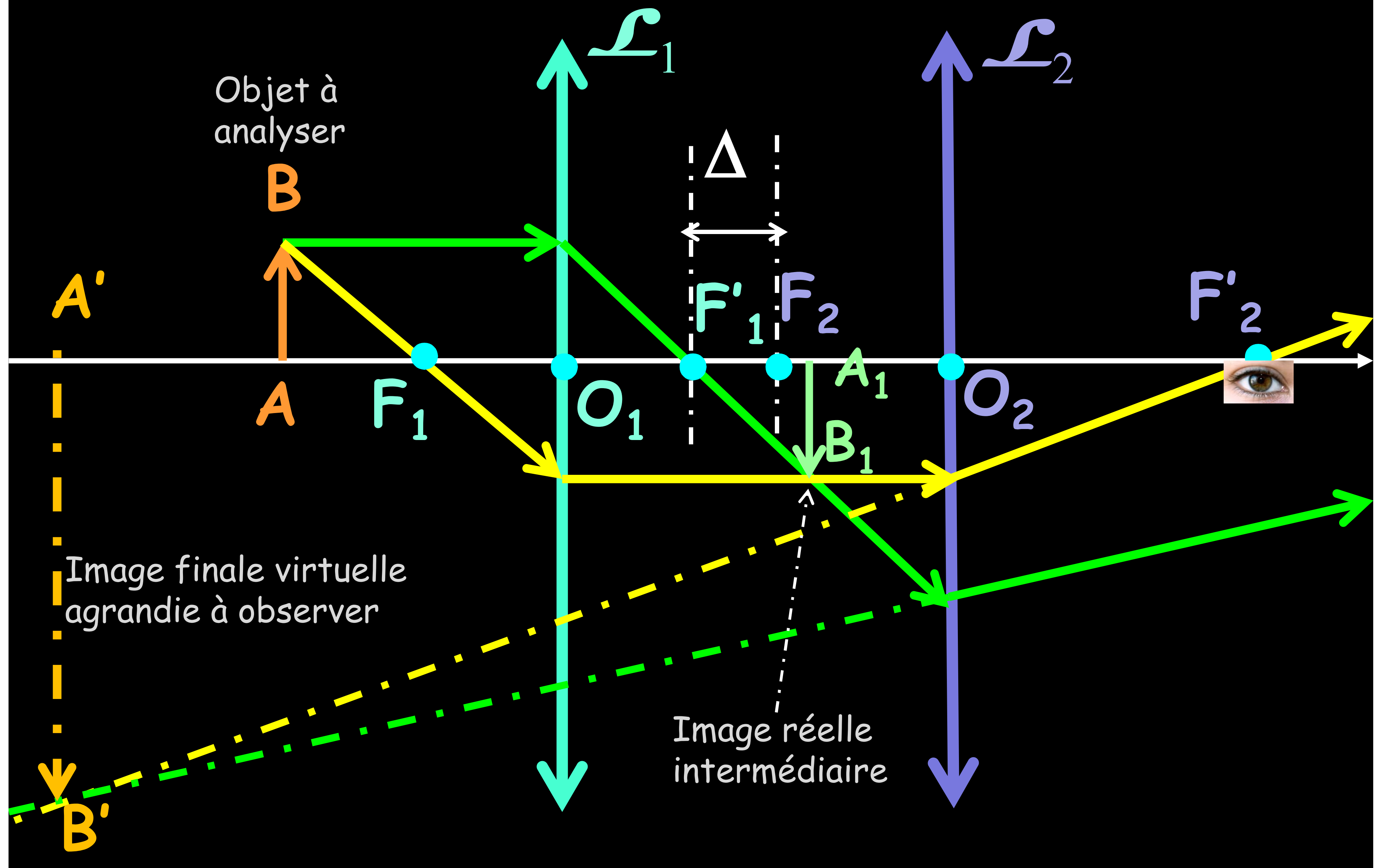
Le microscope:





Un microscope est un instrument de <u>très fort grossissement</u> comprenant un ***objectif***, assimilable à une lentille mince très convergente, et un *oculaire* jouant le rôle de loupe dans l'examen de l'image réelle, très agrandie, que l'objectif donne de l'objet examiné. Le microscope est alors <u>l'association</u> de deux systèmes convergents. Il sert à <u>observer de petits objets rapprochés</u>.

Son fonctionnement idéal : lorsque l'image réelle donnée par l'objectif se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire (dans ce cas l'œil normal n'accommode pas).


Comment fonctionne un microscope ?
ℒ1
ℒ2
Objet à
analyser
B
Δ
A'
F'1
F2
F'2
A
F1
O1
A1
O2
B1
Image finale virtuelle
agrandie à observer
Image réelle
intermédiaire
B'

où β est le diamètre apparent de l'image, et AB désigne la taille de l'objet à examiner.

La Puissance :

$$P_{(dioptrie)} = \frac{\beta_{(rd)}}{\overline{AB}_{(m)}}$$

$$P = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} \cdot \frac{\beta}{\overline{A_1B_1}} = \underbrace{\gamma_1}_{\text{l'Objectif}} \cdot \underbrace{P_0}_{\text{l'Oculaire}}$$

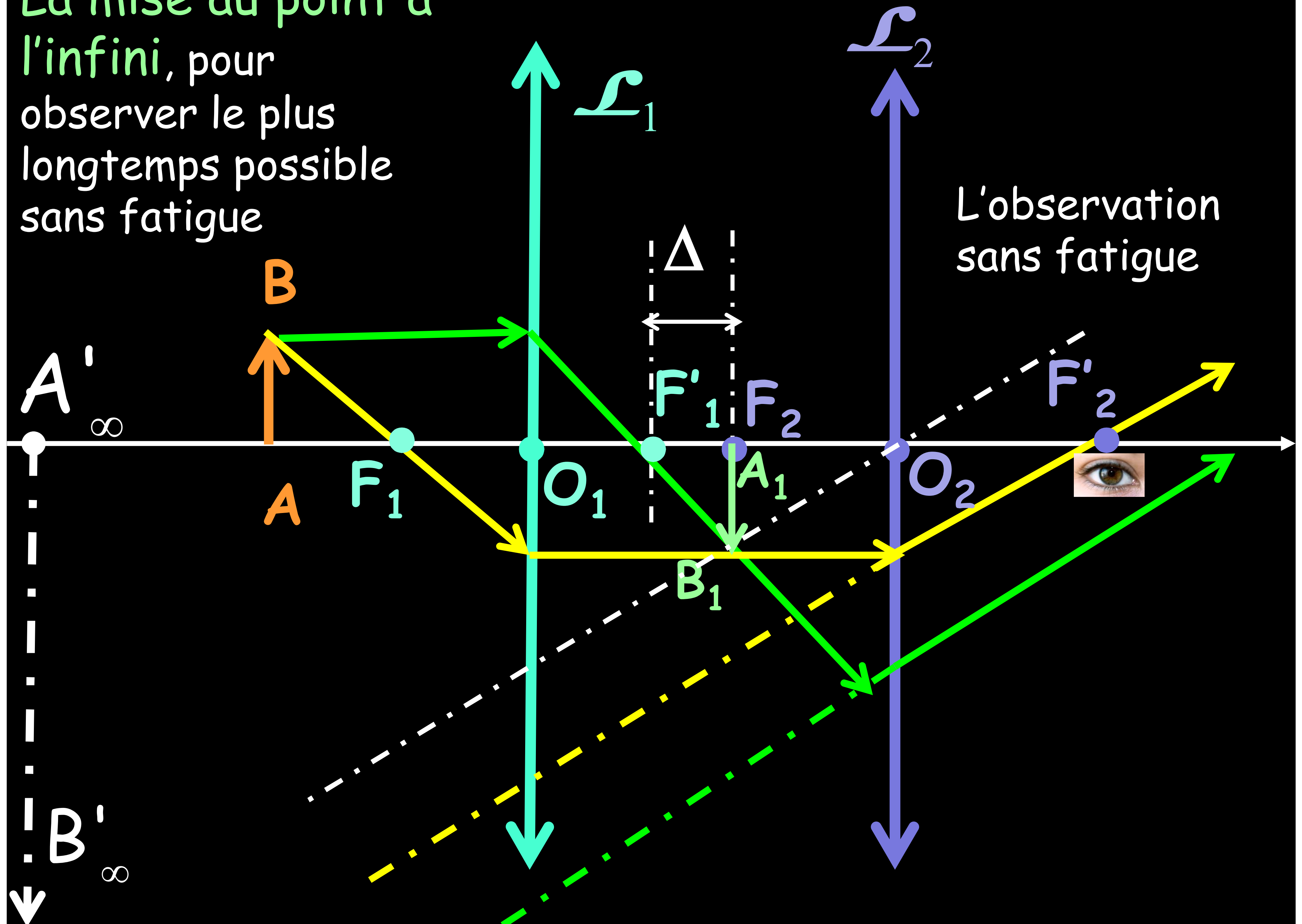
Le grossissement :

$$G = \frac{\beta}{\alpha}$$

Avec β est le diamètre apparent de l'image, et α est le diamètre apparent de l'objet.

$$G = \frac{\beta}{\overline{AB}} \cdot \frac{\overline{AB}}{\alpha} = P.d_m$$

d_m est la distance minimale de vision distincte


La mise au point à l'infini, pour observer le plus longtemps possible sans fatigue
L'observation sans fatigue
$\mathcal{L}_1$
$\mathcal{L}_2$
Δ
B
A
A'∞
B'∞
F1
O1
F'1
F2
A1
B1
O2
F'2

Exercice 22: Le microscope

$$V_1 = 250\delta \Rightarrow f_1' = 4mm,\quad \overline{O_1O_2} = 18,9cm = 189mm,\quad \overline{O_1A} = -4,1mm,\quad V_2 = ?$$

a) $AB \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A'B' \Rightarrow \dfrac{1}{\overline{O_1A'}} - \dfrac{1}{\overline{O_1A}} = \dfrac{1}{\overline{O_1F_1'}} = \dfrac{1}{f_1'} \Rightarrow \boxed{\overline{O_1A'} = \dfrac{f_1'.\overline{O_1A}}{f_1' + \overline{O_1A}} = 164mm}$

b) $\boxed{\gamma_t = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \dfrac{\overline{O_1A'}}{\overline{O_1A}} = \dfrac{164mm}{-4,1mm} = -40}$

$\boxed{\overline{A'B'} = \overline{AB}.\gamma_t = 10\mu m.(-40) = -400\mu m}$

A'B' est une image réelle, renversée et 40 fois plus grande que l'objet AB=10μm

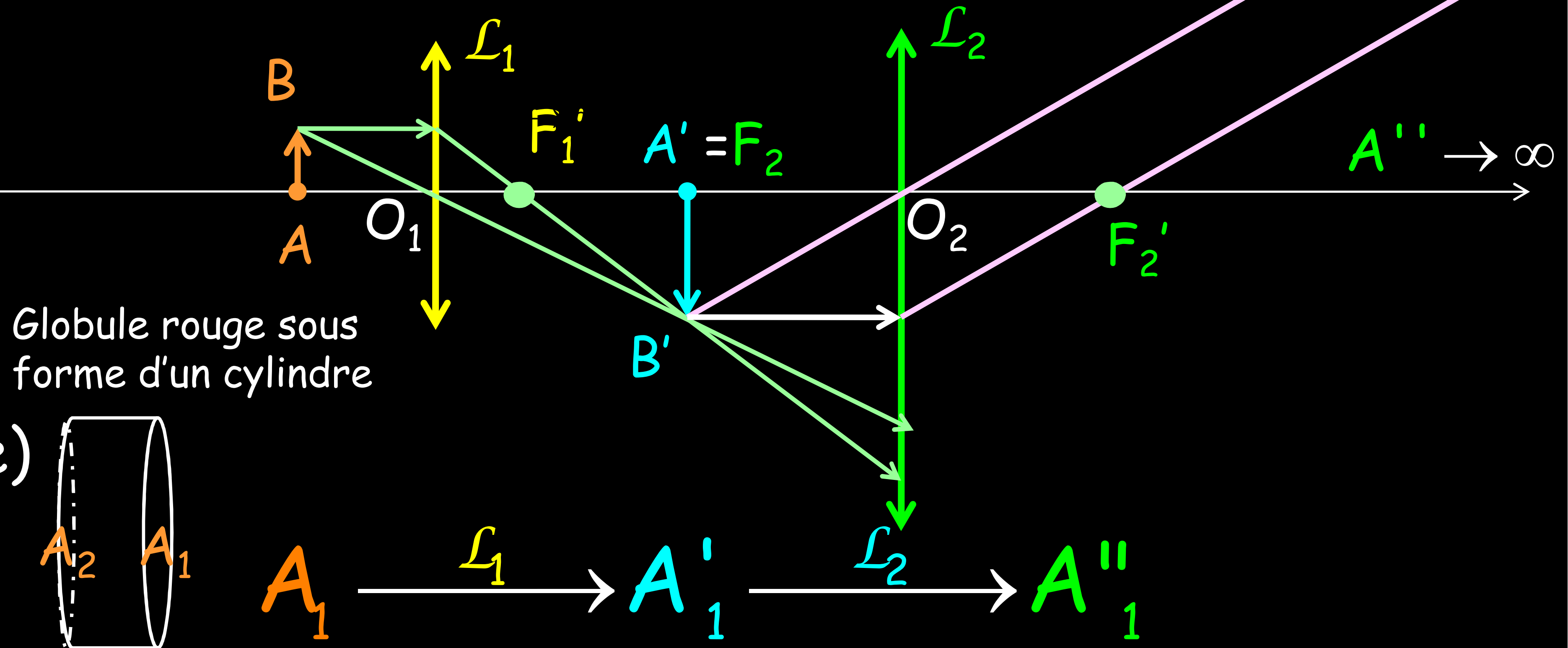
c) $AB \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A'B' \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A''B''$

A''B'' est une image virtuelle, droite agrandie, formée par l'oculaire $\mathcal{L}_2$ qui joue le rôle d'une loupe.

d) A''B'' est située à l'infini alors l'image intermédiaire A'B', formée par l'objectif $\mathcal{L}_1$, doit être placée sur le foyer principal objet F_2 de $\mathcal{L}_2$, d'où on a :

$$\boxed{\overline{O_2F_2} = \overline{O_2A'} = \overline{O_2O_1} + \overline{O_1A'} = -189 + 164 = -25\text{mm}}$$

Mise au point à l'infini



e) $A_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A'_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A''_1$

En vertu de la question (d) on a :

$$\boxed{\begin{array}{l} \overline{O_1A_1} = -4,1\text{mm} \Rightarrow \quad \overline{O_1A'_1} = 164\text{mm} \\ \overline{O_2A'_1} = \overline{O_2F_2} = -25\text{mm} \Rightarrow \quad A''_1 \to \infty \end{array}}$$

f) $A_2 \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A'_2 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A''_2$

Par hypothèse on a : $\overline{F_2A_2'} = \overline{F_2O_2} + \overline{O_2O_1} + \overline{O_1A_2'} \Rightarrow$

$$\overline{O_1A_2'} = \overline{F_2A_2'} + \overline{O_2F_2} + \overline{O_1O_2} = +3,1mm - 25 + 189 = 167,1mm$$

A'_2 est l'image intermédiaire de l'objet A_2, formée par l'objectif $\mathcal{L}_1$, d'où on a :

$$\frac{1}{\overline{O_1A_2'}} - \frac{1}{\overline{O_1A_2}} = \frac{1}{\overline{O_1F_1'}} = \frac{1}{f_1'} \Rightarrow \overline{O_1A_2} = \frac{f_1'.\overline{O_1A_2'}}{f_1' - \overline{O_1A_2'}}$$

A.N. : $\overline{O_1A_2} = \frac{f_1'.\overline{O_1A_2'}}{f_1' - \overline{O_1A_2'}} = \frac{4.167,1}{4 - 167,1} = -4,098mm$

D'où on a :

$$\overline{A_1A_2} = \overline{A_1O_1} + \overline{O_1A_2} = \overline{O_1A_2} - \overline{O_1A_1} = -4,098 + 4,100 = 0,002mm = 2\mu m$$

C'est l'épaisseur du globule rouge à analyser au microscope.

fin.